

# Manejo Integral de Agua y Suelo en Centroamérica

## Bases científicas para el desarrollo rural comunitario



*PROGRAMA DE COOPERACIÓN*

**CAB CENTROAMÉRICA**

**Comunidad,**

**Agua y**

**Bosque en Centroamérica**



**aecid**

Agencia Española  
de Cooperación  
Internacional  
para el Desarrollo

2012



# **Manejo Integral de Agua y Suelo en Centroamérica.**

## **Bases científicas para el desarrollo rural comunitario.**

Aportaciones del Programa de Cooperación **CAB** Centroamérica -  
*Comunidad, Agua y Bosque en Centroamérica-*.

2012

### EDITORES

Nur Algeet Barquero  
Jesús Fernández Moya  
Elena Lianes Revilla  
Miguel Marchamalo Sacristán  
Rubén Martínez Marín  
Juan Gregorio Rejas Ayuga



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA MADRID**  
Dirección de Cooperación  
para el Desarrollo



**UNIVERSIDAD  
DE COSTA  
RICA**

Universidad Politécnica de Madrid  
Programa de Cooperación Comunidad Agua y Bosque en Centroamérica  
Laboratorio de Topografía y Geomática  
E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos  
Madrid, España, 2012  
ISBN 847493467-2



Realizado con el apoyo del proyecto PCI-AECID “FORMAIAS: Fortalecimiento de la Red universitaria para el Manejo Integral de Agua y Suelo en Centroamérica”

***NOTA:*** Esta publicación recopila de trabajos de varios autores. Las ideas y opiniones expresadas en estos trabajos no reflejan la posición de la AECID ni de los editores, siendo responsabilidad de los autores.



## Índice

Prólogo	
Marchamalo M .....	9
Ambiente y desarrollo en Centroamérica: relación agua-suelo	
Alvarado A .....	13
1. CAB - Programa de Cooperación Comunidad, Agua y Bosque en Centroamérica: una red para el desarrollo local	
1.1. Objetivos y justificación.....	21
1.2. Organización y gestión.....	22
1.3. Beneficiarios.....	23
1.4. Proyectos.....	24
1.5. Reuniones.....	33
2. CAB 2012: experiencias en Nicaragua	
Los recursos hídricos de Nicaragua y el cambio climático	
Vammen K, Hurtado I .....	37
El SAT, mas allá que un bachillerato rural: Experiencias en conservación de agua y suelo con jóvenes del programa SAT	
Aguirre C, Gonzales JD.....	40
Riesgo de contaminación por actividades antropogenicas al lago Cocibolca. Uso de la herramienta de modelo Environmental Risk System (ERS)	
Flores Y, Flores S, Schill S, Abre V .....	43
Evaluación del factor vegetación del modelo rusle en la cuenca del lago Apanás (Nicaragua)	
Madrigal L, Marchamalo M, Roldán M.....	48
Evaluación de la dinámica de la laguna de apoyo mediante trazadores isotópicos y geoquímicos	
Calderón H, Flores Y .....	49
Diagnostico ambiental cuenca alta rios Mico y Siq	
Flores Y, Calderón H .....	54
Evaluación de la tendencia en volumen y calidad de los recursos hídricos en San Juan del Sur, Rivas	
Calderón H, Flores Y, Delgado V .....	59
Caracterización hidrogeológica y evaluación calidad de agua para el archipiélago de Solentiname	
Delgado V, Flores Y .....	63
Evaluación del estado actual (calidad y cantidad) y estimación de la dinámica de recarga de los mantos freáticos en la franja costera del municipio de Tola	
Delgado V, Calderón H, Flores Y, Salvatierra T .....	67
3. CAB 2012: experiencias en Honduras	
Tecnologías geomáticas para la investigación y protección del patrimonio cultural y natural en Centroamérica	
Rejas JG, Bastarrica A .....	75
Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Danlí, El Paraiso, Honduras. Imagenes ikonos 2	
Mondragón CN .....	83

El estudio de sitios arqueológicos por medio de las tecnologías de la información geográfica en Honduras. Fase I caso Jesús de Otoro, departamento de Intibuca	
Rodríguez C .....	88
Estudio de una colonia en la república de Honduras, Centro América. Proyecto: estudio de línea base de barrio Elegido y Control	
Cruz M.....	89
Análisis de procesos de pérdidas de especies nativas en zona de amortiguamiento de zona Sur del área protegida de montaña de Botaderos, Olancho, Honduras	
Sosa Y.....	108
Análisis de la potencialidad de sistemas activos SAR para la detección de vertidos de petróleo en el mar	
Irías GA.....	112
Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca del valle de Jesús de Otoro entre los años 2000-2006. Aplicando técnicas de teledetección	
Sanchez AA .....	119
Alteración hidrotermal y dinámica de cobertura de suelos, métodos de teledetección, valle de Choluteca, Honduras.	
Corrales RE, Rejas JG .....	128
Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa, Yoro, Honduras	
García LA, Martínez K .....	135
Transferencia de capacidades al equipo de la unah en la programación de software libre para la creación de nuevos algoritmos de sextante y sobre gvSIG, centrándose en la mejora del aplicativo gvSIG fonsagua para la planificación de actuaciones de abastecimiento y saneamiento de agua en zonas rurales de Honduras	
Varela FA, Moreno EL, Giménez JC.....	144
 4. CAB 2012: experiencias en Costa Rica	
Clasificación multitemporal de las coberturas de la tierra a través de clasificadores en árbol en el cantón de Osa, zona Sur de Costa Rica	
Algeet-Abarquero N, Marchamalo M, Rejas JG, Bonatti J, Martínez R.....	150
Metodologías para medición en campo del efecto de las coberturas vegetales sobre el ciclo de agua: cuenca experimental río Tinoco	
Algeet-Abarquero N, Marchamalo M, Bonatti J, Martínez R .....	156
Manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión: estudio del factor vegetación del modelo rusle en la cuenca del río Birrís, Costa Rica	
Lianes E, Marchamalo M, Roldán M, Martínez C .....	159
Las plantaciones forestales como alternativa de desarrollo sostenible	
Fernández-Moya J .....	165
Metodología para el diagnóstico de abastecimientos comunitarios rurales en Centroamérica: situación de los cantones de Osa y Golfito (Costa Rica)	
Pérez-Vinasco A, Olabarri J, Bonatti J, Marchamalo M .....	170
Plan de mejora de los abastecimientos de agua comunitarios del cantón Osa (Costa Rica).	
Olabarri J, Bonatti J, Marchamalo M, Hernández CG.....	173

# **PRÓLOGO**



En la actualidad existe una **creciente demanda de agua en Centroamérica**, paralela al incremento poblacional, tanto en zonas urbanas como rurales. El **agua es uno de los recursos naturales más degradados**, debido principalmente a la reducción de la cobertura forestal, y cambios en el uso del suelo que reducen la disponibilidad de agua y su capacidad de almacenamiento en los acuíferos. En consecuencia, se observa una tendencia en aumento, del número de fuentes de agua que se secan en la época seca. En Centroamérica, y especialmente en las zonas de menor índice de desarrollo humano, las comunidades se abastecen principalmente de tomas de agua en zonas forestales. El futuro de estos acueductos rurales, normalmente autogestionados, se apoya en la necesidad de conservar las propiedades hidrológicas de los suelos forestales para asegurar el aprovisionamiento de agua a una gran parte de la población rural centroamericana.

Este libro recoge los frutos de la colaboración y trabajo conjunto de un grupo de Universidades Iberoamericanas entre 2007 y 2012 el marco de las actividades del Programa de Cooperación Comunidad, Agua y Bosque en Centroamérica (CAB Centroamérica, <http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/imt/Topografia/Cab/cab.html> ). Las actividades se han realizado con el apoyo del Programa de Cooperación Universitaria PCI-AECID IBEROAMÉRICA, de la Dirección de Cooperación para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid y de los fondos propios de las Universidades latinoamericanas, con especial mención a la Universidad de Costa Rica, coordinadora de los trabajos en Centroamérica. El inicio de esta colaboración se produjo en 2007 a partir de la identificación de un objetivo común: profundizar la **investigación sobre la dinámica agua-suelo-plantas para mejorar la producción y la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento comunitarios en Centroamérica**.

El programa tiene una **VISIÓN CENTROAMERICANA**, trabajando con **estudios de caso en Nicaragua, Honduras y Costa Rica**. La metodología de trabajo ha sido la de realización de estudios de caso demostrativos en cuencas prioritarias coordinados con grupos focales de actores implicados en la gestión del agua en Centroamérica: empresas eléctricas, empresas de abastecimiento, académicos, ONG, etc. El presente libro recoge las ponencias presentadas en las reuniones y seminarios del Programa CAB realizados en Madrid, San José, Sierpe de Costa Rica y Managua.

La colaboración ha logrado forjar y fortalecer la **red de colaboración interuniversitaria establecida entre España y las Universidades de Centroamérica** para afrontar de manera integral la problemática del manejo sostenible de los recursos hídricos en comunidades rurales de Centroamérica con base científica. Asimismo se ha logrado integrar en la red a instituciones nacionales y especialmente, técnicos locales y de ONG sobre el terreno, como los técnicos de los acueductos rurales, que permitirán mejorar la transferencia de los conocimientos a las comunidades rurales, principales beneficiarias de esta acción de cooperación.

El Programa CAB está abierto a nuevos participantes en América Latina y trabajará en un futuro próximo en la línea impulsada por el Horizonte 2020 de la Unión Europea en favor de la innovación tecnológica y la cooperación científica. El espíritu de esta red se inspira en el objetivo esencial marcado en la VI Cumbre Unión Europea- América Latina y Caribe (Madrid, 2010): **“Hacia una nueva fase de la asociación birregional: Innovación y tecnología para el desarrollo sostenible y la integración social”**



**AMBIENTE Y DESARROLLO EN CENTROAMÉRICA:  
RELACIÓN AGUA-SUELO**





## **AMBIENTE Y DESARROLLO EN CENTROAMÉRICA: RELACIÓN AGUA-SUELO**

Dr. Alfredo Alvarado <sup>(1)</sup>

(1) Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [alfredo.alvarado@ucr.ac.cr](mailto:alfredo.alvarado@ucr.ac.cr)

### **El desarrollo y el ambiente en Centroamérica**

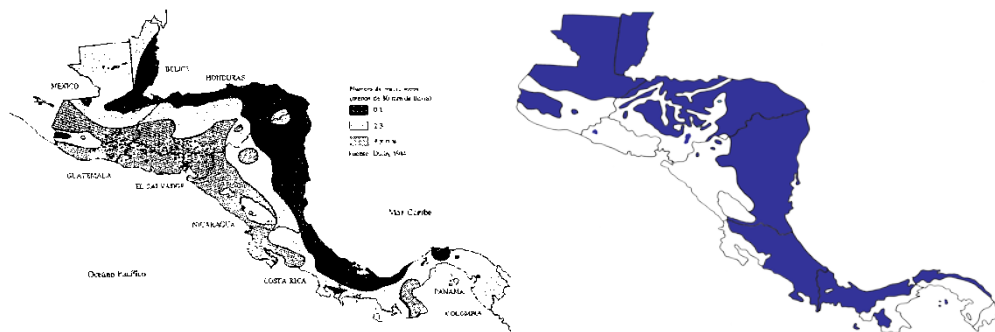
Históricamente Centroamérica presenta un mayor número de asentamientos humanos en la región norte, en el Istmo de Tehuantepec y Mesoamérica (Hall y Pérez 2003). Allí florecieron y desaparecieron varias culturas debido a diferentes causas, una de ellas el manejo del agua para la producción de alimentos y otros usos (Beach y Dunning 1995, Vargas 2001, Bautista et al. 2005), sin afectar negativamente su calidad (Hirata 2002, INCAE 2010). Una situación similar se presenta en la Zona Andina, donde a pesar del buen manejo que se le daba al uso del agua (Guamán 2010), varias culturas florecieron y desaparecieron por efecto de varios años secos muy seguidos en épocas relativamente recientes (Solórzano 2009).

En el debate del desarrollo en Costa Rica realizado en el marco del primer Congreso Nacional sobre Conservación de Recursos Naturales Renovables (Corrales 1974), se menciona que aunque el país posee recursos hidráulicos relativamente amplios, se requiere de un “pensamiento claro” que permita lograr su óptimo aprovechamiento y su conservación. Este pensamiento claro, sobretodo transferido en política pública equitativa, aún falta por verse.

Para la región centroamericana, el tema se retoma en años posteriores en relación a la conservación de los recursos naturales (Leonard 1985) y recientemente la relación agua-suelo toma relevancia en el contexto del efecto que se espera causen los cambios climáticos sobre ambos componentes (Lücke y Cussianovich 1996, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global 2004). Debe recordarse que el cálculo de la capacidad demográfica de una región se basa principalmente en la disponibilidad de agua y la calidad de sus suelos para suplir las necesidades de los cultivos y sus habitantes (Higgins et al. 1984, van Ranst y Tang 1999).

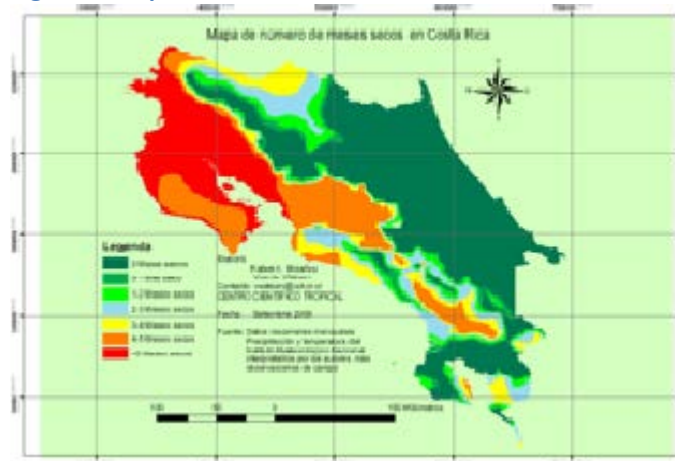
En general, la disponibilidad de agua para todos los fines es abundante en la vertiente caribe y mucho menor en la vertiente pacífica de gran parte de Centro América (Vargas 2004, UNESCO 2007); de acuerdo con Leonard (1985) el número de meses secos en la región Caribe varía entre 0-1, mientras que en la vertiente pacífica es de 4 o más y en sección montañosa de la región, el período seco varía entre 2-3 meses (Figura 1.A). Si se estima la disponibilidad de agua en el suelo en toda la región van Wambeke (1987) llega a una conclusión similar, considerando que para fines de agricultura de secano, solamente en la costa pacífica y del norte de Costa Rica hasta Guatemala, se necesita agua para riego en la vertiente pacífica (Figura 1.B).

Figura 1. Número de meses secos en América Central según: A) Leonard (1985) y B) van Wanbeke (1987)



Considerando la información de estaciones pluviométricas de Costa Rica, Bolaños y Watson (2009) presentan un mapa (Figura 2) de meses secos para el país, en el cual se muestra con buen detalle las áreas en las cuales debe irrigarse o drenarse los cultivos. Esta misma información permitiría determinar en cuales zonas habrá suficiente agua para consumo humano y animal y para generación de energía durante la época de estiaje.

Figura 2. Mapa de número de meses secos en Costa Rica



### Relación agua-suelo y los problemas sociales en la región

En Centroamérica, los problemas sociales son tan comunes como lo son los terremotos o las erupciones volcánicas. A esto, se suman los problemas relacionados con:

- Abastecimiento de agua potable en los hogares
- Sequías e inundaciones relacionadas con el fenómeno del Niño (Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global 2004)
- Devastación de regiones por efecto de huracanes (Paniagua 1995)
- Crecimiento de la población y deforestación (Harrison 1991)
- Líos por suplir de agua potable a proyectos turísticos a expensas de poblados rurales y población migrante (Vargas et al. 1975)
- Competencia por el recurso agua cuando varios usuarios desean utilizarlo con diferentes fines (por ejemplo rafting vs represas hidroeléctricas)

Aunque algunos de los problemas mencionados son de difícil solución, otros de ellos podrían preverse y resolverse si el “pensamiento claro” mencionado por (Corrales 1974), o tan solo la buena voluntad de los actores políticos quisieran. Sin embargo, situaciones como el descuido de áreas de recarga acuífera y la tala indiscriminada y urbanización de terrenos vulnerables a la erosión del suelo, se relacionan con problemas de invasión de predios, producto de la poca acción política en cuanto a otros asuntos sociales, como citan desde hace algún tiempo varios autores para América Latina (Sheahan 1987, Janvry y García 1992, FLACSO 2002).

Sin lugar a dudas, la mayoría de los problemas arriba mencionados se exacerbarán con los cambios climáticos, principalmente los relacionados directamente con la disponibilidad o excesos de agua en períodos determinados, o los relacionados con la disminución de las cosechas en la región (Higgins et al. 1984, Lal et al. 2000, Montenegro y Abarca 2001, CAST 2004).

### **Necesidades de investigación y coordinación**

Dentro de los alcances del Programa CAB-Centroamérica (Programa Comunidad, Agua y Bosque en Centroamérica), que incluye los Proyectos durante 2011(finalización inicios 2012):

- MAIAS ( Manejo Integral de Agua y Suelos en Centroamérica), dentro de la XI Convocatoria de Subvenciones y Ayudas para Acciones de Cooperación Universitaria para el Desarrollo (año 2010) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y
- FORMAIAS (Fortalecimiento de la Red Universitaria para el Manejo Integral de Agua y Suelo en Centroamérica), dentro del Programa de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica (PCI) de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Dichos programas tienen los siguientes **objetivos**:

**OBJETIVO PRINCIPAL:** Mejorar la producción y la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento para el consumo humano en Centroamérica.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Medir y caracterizar el balance hídrico de distintas coberturas y usos del suelo ubicados en cuencas prioritarias de producción hídrica en Centroamérica.
- Diseñar alternativas de manejo y uso de la tierra que permitan mejorar la eficiencia de los sistemas de captación de agua en Centroamérica en el marco del cambio global.
- Generar herramientas y transferir este conocimiento a los gestores de abastecimiento

De esta manera, el Programa CAB, continuará realizando actividades conducentes a resolver problemas técnicos y de transferencia de conocimiento, que permitan llenar este vacío en la solución a los problemas generales descritos en los capítulos 1) y 2) del presente documento. Aunque a los participantes del Programa CAB nos gustaría nos gustase incluir otros componentes sociales de este tipo de actividades, la realidad económica y multidisciplinaria al presente no alcanza sino justo para cubrir “algunos de los aspectos científicos” del problema que envuelve a la comunidad, agua y bosque en Centroamérica.

El hecho de que el Programa CAB cuente hasta el presente con 7 tesis (una de Doctorado, 3 de Maestría y 3 de Graduación), haber hecho 11 presentaciones de resultados en Congresos y Talleres de Trabajo Regionales y contar con 6 publicaciones en la revista *Agronomía Costarricense*, indica no solo la dedicación y compromiso de los participantes en el Programa, sino a su vez la aceptación del mismo por parte de los responsables en cada uno de los países involucrados en el mismo.

### **Literatura citada**

- BAUTISTA F, PALACIO G, ORTIZ-PÉREZ M, BATLLORI-SAMPEDRO E, CASTILLO-GONZÁLEZ M. 2005. El de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la península de Yucatán. Capítulo 1. pp. 21-32. In. F. Bautista y G. Palacio (eds.). Caracterización y manejo de los suelos de la península Autónoma de Yucatán.
- BEACH T, DUNNING NP. 1995. Ancient Maya terracing and modern conservation in the Petén rain forest of Guatemala. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(1): 138-145.
- BOLAÑOS RA, WATSON V. 2009. Mapa de número de meses secos en Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica.
- CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 2004. Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture. Task Force Report Nº 141. Ames Iowa, USA. 120 p.
- CORRALES MF. 1974. Los recursos hidráulicos de Costa Rica: problemática de su uno actual y futuro. 61-66. In. Primer Congreso Nacional sobre Conservación de Recursos Naturales Renovables. Abril 22-26 de 1974. Facultad de Agronomía. Universidad De Costa Rica. San José, Costa Rica.
- FLACSO (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales). 2002. Centroamérica en cifras 1980-2000. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 220 p.
- GUAMÁN G. 2010. Irrigación en zonas andinas: el sistema hidráulico de Tipón en Cusco, Perú. pp. 295-316. In. A. Usón, J. Boixadera, Á. Bosch y A. Enrique (eds.). Tecnología de suelos: estudio de casos. Pressas Universitarias de Zaragoza/Ediciones de la Universidad de Lleida. España.
- HARRISON S. 1991. Population growth, land use and deforestation in Costa Rica, 1950-1984. *Interciencia* 16 (2): 83-93.
- HIRATA R. 2002. Contaminación del agua subterránea: mejor prevenir que remediar. In. J. Reynolds (ed.). Manejo integrado de aguas subterráneas, un reto para el futuro. San José, Costa Rica. EUNED. pp. 3-18.
- HALL C, PÉREZ H. 2003. Historical atlas of Central America. University of Oklahoma Press. 321 p.
- HIGGINS GM *et al.* 1984. Capacidades potenciales de carga demográfica de las tierras del mundo en desarrollo. FAO. Informe Técnico INT/75/P13. Roma, Italia. 140 p.
- INCAE. 2010. Proyecto NEEDS (National Economic, Environmental and Economic Development Study for Climate Change Project): Opciones de mitigación de emisiones de gases con efecto invernadero en Costa Rica: hacia la carbono neutralidad en el 2021. Borrador Final. Heredia, Costa Rica. 83 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO PARA LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO GLOBAL. 2004. Los diez primeros años del IAI: observaciones, mediciones, comprensión y documentación de los cambios ambientales en las Américas. 49 p.
- JANVRY A. de, GARCIA R. 1992. Rural poverty and environmental degradation in Latin America. IFAD, Staff Working Paper Series 1. Roma, Italia. 46 p.
- LAL R, KIMBLE JM, STEWART BA (eds.). 2000. Global climate change and tropical ecosystems. *Advances in Soil Science*. CRC Press LLC. New York, USA. 428 p.
- LEONARD HJ. 1986. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central. San José, Costa Rica. IIED. 267 p.
- LÜCKE O, CUSSIANOVICH P. 1996. Escenarios socioambientales para cambio climático en América Central. Proyecto Centroamericano sobre Cambio Climático. CRRH-CCAD-Agencia Protección Ambiental USA. San José, Costa Rica. 80 p (Anexos).
- MONTENEGRO J, ABARCA S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del cambio global. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica. 137 p.
- PANIAGUA S. 1995. Los desastres naturales y sus implicaciones en América Central. *Revista Geológica de América Central* 18: 107-112.
- RANST E van, TANG H. 1999. Assessment of the population supporting capacity of the mountainous Kivu-landscape in Zaire. In III Curso de Postgrado Manejo de Suelos Tropicales. Lleida, España. 28 p.
- SHEAHAN J. 1987. Patterns of development in Latin America. Princeton. New Jersey, USA. 399 p.

- SOIL SURVEY STAFF 2006. Soil taxonomy: A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Tenth ed. Washington DC, USDA. 341 p.
- SOLÓRZANO JC. 2009. América antigua. Editorial UCR, San José, CR.
- UNESCO. 2007. Balance hídrico superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 10. 49 p.
- VARGAS A. El manejo histórico de los recursos hídricos en Costa Rica con énfasis en el período indígena y en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX. Anuario de Estudios Centroamericanos. 27(1):59-81.
- VARGAS G.1992. Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América Central. Anuario de Estudios Centroamericanos 18(2):7-23.
- VARGAS JR. *et al.* 1995. El impacto económico y social de las migraciones en Centroamérica (1980-1989). Anuario de Estudios Centroamericanos 21 (1-2):39-81.
- WAMBEKE A van. 1987. Soil moisture and temperature regimes of Central America, Caribbean and Mexico. New York, USA. SMSS



**1. CAB -  
PROGRAMA DE COOPERACIÓN COMUNIDAD,  
AGUA Y BOSQUE EN CENTROAMÉRICA:  
UNA RED PARA EL DESARROLLO LOCAL**





## 1. CAB- PROGRAMA DE COOPERACIÓN COMUNIDAD, AGUA Y BOSQUE EN CENTROAMÉRICA: UNA RED PARA EL DESARROLLO LOCAL

<http://www2.caminos.upm.es/Departamentos/imt/Topografia/Cab/cab.html>

### 1.1. Objetivos y justificación

El Programa de Cooperación Comunidad, Agua y Bosque en Centroamérica (CAB) tiene por objetivo proporcionar información y soluciones a los gestores del agua de Centroamérica en relación a las siguientes cuestiones:

- *¿Cuál es la influencia de los usos de la tierra, especialmente los bosques, en el componente hídrico de la cuenca? ¿Cómo medirla?*
- *¿Cómo mejorar la eficiencia de captación y recarga de los sistemas de abastecimiento humano en el marco del cambio global?*
- *¿Cómo priorizar las acciones de un plan de ordenación territorial de cuencas para la producción de agua?*

En asociación con las entidades nacionales encargadas de la gestión de los recursos hídricos, los objetivos del Programa de Cooperación, ya mencionados en la introducción, son:

**OBJETIVO PRINCIPAL:** Mejorar la producción y la calidad del agua de los sistemas de abastecimiento para el consumo humano en Centroamérica.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Medir y caracterizar el balance hídrico de distintas coberturas y usos del suelo ubicados en cuencas prioritarias de producción hídrica en Centroamérica.
- Diseñar alternativas de manejo y uso de la tierra que permitan mejorar la eficiencia de los sistemas de captación de agua en Centroamérica en el marco del cambio global.
- Generar herramientas y transferir este conocimiento a los gestores de abastecimiento

En la actualidad existe una **creciente demanda de agua en Centroamérica**, paralela al incremento poblacional, que trae consigo contaminación de fuentes de agua próximas a los núcleos urbanos y a las zonas de cultivo. Los demandantes mayores de estos servicios son las grandes ciudades, las tierras bajas de producción agrícola, las agroindustrias, las empresas de producción hidroeléctrica y, en general, todos los ciudadanos que reciben sus beneficios, a nivel local, regional o planetario.

La **problemática ambiental y más específicamente la escasez de agua** que se ha acentuado durante la última década en los municipios del Pacífico centroamericano, es una consecuencia de la degradación de los recursos naturales. Aunque estas regiones históricamente han sido zonas de expulsión, en particular cuando el uso de la tierra era de ganadería extensiva, en la actualidad la presión que ejerce el crecimiento demográfico, a través del aumento de desarrollo turístico y las prácticas agronómicas inadecuadas utilizadas en la producción campesina son los principales factores que causan conflictos por el uso de los recursos, a excepción de los proyectos de riego existentes. Lo anterior también es una consecuencia de la difícil situación socioeconómica que padecen los pobladores de estas zonas. Además el limitado conocimiento existente sobre los cambios climáticos en la región dificulta la formulación de escenarios de trabajo.

El agua es uno de los recursos naturales más degradados, debido principalmente a la reducción de la cobertura forestal, y cambios en el uso del suelo que reducen la capacidad de captación y almacenamiento de agua en los mantos acuíferos. En consecuencia, se observa una tendencia en aumento del número de fuentes de agua que se secan en la época seca.

La **introducción de mejores prácticas de producción, manejo de micro cuencas, protección y conservación de fuentes de agua y manejo sostenible de suelos** a nivel de fincas de pequeños y medianos productores, ha sido concebida como una prioridad por los actores locales en estos territorios. Uno de los efectos esperados de la adopción de tecnologías de Manejo Sostenible de Suelos y Aguas es la recuperación de fuentes de agua, especialmente en aquellas zonas de laderas.

En resumen, la mayoría de los estudiosos de las relaciones ciclo hidrológico-cobertura coinciden en señalar que **es necesaria una mayor investigación concerniente a los aspectos menos conocidos de la dinámica del agua**, como son la evapotranspiración, la interceptación y la recarga de acuíferos. En la actualidad se debe tener en cuenta que la producción hídrica de un territorio en una situación climática dada depende en gran medida del balance entre el consumo de la sociedad, los ecosistemas y la capacidad de almacenamiento y regulación hídrica del propio territorio. Esta capacidad está condicionada por factores hidrogeológicos, edáficos e históricos entre otros y puede ser mejorada o empeorada con actuaciones humanas.

El Programa Comunidad Agua y Bosque surge como una **herramienta de investigación y transferencia comunitaria de conocimiento** científico y técnico sobre la gestión del agua. Apoyado en la **sólida base científico-técnica** de las Universidades participantes, el Programa trabaja con **enfoque de comunidad**, participando y colaborando en la gestión de los sistemas de abastecimiento de agua y aportando la base de conocimiento para la toma de decisiones.

## 1.2. Organización y gestión

El Programa de Cooperación CAB cuenta con dos oficinas físicas de coordinación, una en la UPM (Madrid) y otra en UCR (San José). La oficina de Madrid, ubicada en el Laboratorio de Topografía y Geomática (E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. UPM) realiza las labores de coordinación general del programa y hasta finales de 2009, realizaba la coordinación de los proyectos PCI-AECID, que han sido los precursores del programa CAB. La oficina de la UCR está ubicada en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) y el Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM), y realizan las labores de coordinación de los proyectos financiados por CONARE, de los trabajos de campo en Centroamérica, además de la coordinación con las instituciones participantes de Costa Rica, Nicaragua y Honduras.



Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
[www.upm.es/](http://www.upm.es/)



Universidad de Costa Rica (UCR)  
[www.ucr.ac.cr/](http://www.ucr.ac.cr/)

El Programa tiene una VISIÓN CENTROAMERICANA, trabajando con proyectos que cuentan con estudios de caso en Nicaragua y Costa Rica. La metodología de trabajo ha sido la de realización de estudios de caso en cuencas prioritarias coordinados con grupos locales de actores implicados en la gestión del agua en Centroamérica: gestores públicos, empresas eléctricas, empresas de abastecimiento, académicos, ONG, etc.

### 1.3. Beneficiarios

#### Nicaragua

COMITÉ DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTOS (CAPS) DE SAN RAFAEL DEL NORTE: Son organizaciones comunitarias rurales y que realizan gestiones organizativas y operativas para llevar agua y saneamiento a los hogares. Cada una de las comunidades de San Rafael del Norte cuenta con una CAPS.

LAS UNIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO A SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO (UNOMS) DE SAN RAFAEL DEL NORTE: Son las unidades encargadas a nivel municipal de la gestión de los fondos que se derivan a cada una de las CAPS del municipio.

La UNOMS es así mismo la responsable de la inspección sanitaria del abastecimiento, realizando muestreos de calidad de agua como supervisando la conservación de las áreas de captación de las nacientes, aspecto que se está trabajando a través del programa CAB. La UNOMS de San Rafael del Norte está integrada a su vez dentro de ENACAL.

#### Honduras- Nicaragua-Costa Rica

UNIVERSIDAD DE HONDURAS-UNIVERSIDAD DE NICARAGUA-UNIVERSIDAD DE COSTA RICA: La cooperación interuniversitaria es uno de los aspectos más relevantes del programa, permitiendo la creación de redes de trabajo a nivel centroamericano que generen un marco común de actuación en la región dentro de la temática hidrológico-forestal.

#### Costa Rica

Costa Rica pertenece al Grupo C de Prioridades Geográficas del Plan Director 2009-2012 de la Cooperación Española al Desarrollo 2009-2012. No obstante se considera relevante contribuir a la generación y aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos en temas críticos para el desarrollo debido a que hay zonas con un Índice de Desarrollo Social muy bajo según el informe de 2007 del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica, MIDEPLAN, tal y como muestra la Figura 1.

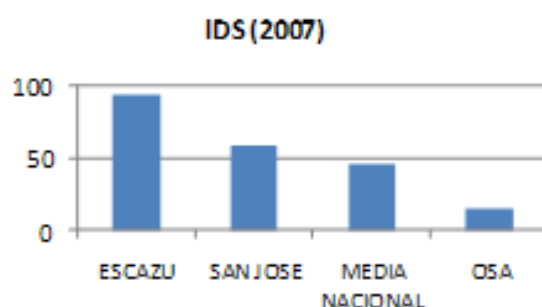


Fig.1.- Índice de Desarrollo Social (IDS) en 2007 del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica MIDEPLAN, en diferentes áreas de Costa Rica.

COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE TINOCO: Es la comunidad beneficiaria de los estudios realizados sobre la cuenca del río Tinoco. Es una comunidad rural de 600 habitantes donde las actividades económicas principales están ligadas al sector primario (cultivos permanentes y ganadería). La ASADA del río Tinoco es la entidad responsable del abastecimiento de agua y es con la que se está colaborando en la actualidad en la optimización de la red.

RED DE ASADAS DEL CANTÓN DE OSA: ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. DELEGACIÓN MINISTERIO DE SALUD PALMAR NORTE: Es el ente nacional de gestión y manejo de los sistemas de abastecimiento. Acueductos y Alacantarillados (AyA) gestiona directamente las redes más

importantes ligadas a los núcleos de población más grandes, mientras que delega en las ASADAS la gestión de las redes de tamaño más reducido. El programa CAB apoya a esta organización en el monitoreo de los recursos hídricos en dos cuencas pilotos del cantón de Osa y en el estudio de escenarios para la mejora de la captación en zonas prioritarias para las poblaciones de la zona.

#### **1.4. Proyectos**

Las actividades realizadas por el Programa de Cooperación CAB hasta 2012 son la materialización en el terreno de los diversos proyectos que financian el Programa. Se distinguen claramente:

- Actividades de experimentación y divulgación científica
- Actividades para la sensibilización y divulgación de los resultados a las comunidades como beneficiarios directos.

**Las actividades de experimentación científica** se han basado hasta el momento en estudios de caso en áreas prioritarias para la recarga acuífera de sistemas de abastecimiento hídrico en Costa Rica y Nicaragua. Las cuencas seleccionadas son:

- Cuencas prioritarias en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica: La cordillera volcánica central de Costa Rica es una zona estratégica para la producción de agua e hidroelectricidad en Centroamérica, así como para consumo humano y agricultura intensiva (miniriego), fundamentalmente debido a la cercanía del Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica, con más de 2 millones de habitantes.
  - Cuenca del río Birris (Costa Rica): Integrada en la cuenca del Reventazón, cuenca de prioridad nacional según Ley de creación de la Comisión de Manejo de la Cuenca del Reventazón (COMCURE).
  - Cuenca del río Durazno-Virilla (Costa Rica): cuenca prioritaria para la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (Costa Rica) y dada su alta contaminación para otras entidades públicas nacionales como SENARA.
- Cuencas del Pacífico seco de Costa Rica: se seleccionó la cuenca del río Jabillo (Costa Rica) como ejemplo de cuenca para el desarrollo sostenible en este tipo de clima, en el que existe una creciente demanda de agua para el turismo, la agricultura y la población.
- Cuencas vertientes al lago de Apanás-Asturias (Nicaragua): cuenca prioritaria en Nicaragua para el abastecimiento hidroeléctrico y el regadío de arroz. El lago de Apanás transfiere agua a la cuenca alta del Río Viejo, seleccionada como prioritaria por el proyecto TERRENA (AECID-ISF-Humboldt-Cuculmeca). ISF está integrada en los Grupos de Trabajo "Agua, bosques y cambio climático" de Madrid y Nicaragua.
- Cuencas de la Fila Costeña del Pacífico Sur de Costa Rica: es una zona prioritaria por su gran riqueza natural, incluyendo humedales y áreas de conservación, y el intenso desarrollo urbanístico al que está sometida. Las cuencas seleccionadas abastecen de agua a pequeñas comunidades, gestionadas por ellas mismas bajo la figura de ASADAS (Asociación de Acueducto Rural):
  - Quebrada Benjamín: Cuenca que abastece de agua a la población de Palmar Norte
  - Cuenca del río Tinoco: sus aguas abastecen a la población de San Francisco.

Así mismo, dentro de los proyectos financiados por CONARE, se está trabajando en los cantones de Osa, Golfito y Corredores, con actividades más extendidas por todo el territorio en ellos comprendido. Esta zona ha sido seleccionada como prioritaria por la situación socio-económica de la zona.

**Los productos que se han generado hasta el momento son:**

- **Sistema de Información Geográfica:** En estas cuencas de estudio se ha recopilado la información geográfica y cartográfica, que ha sido integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para la realización de un diagnóstico de los usos del suelo y balance hídrico en distintos escenarios de clima, ordenación territorial e incremento poblacional.
- **Teledetección:** se ha realizado un esfuerzo para la calibración de distintos métodos de teledetección en las zonas de estudio, con el fin de poder trabajar en zonas sin datos. Se han realizado análisis de clasificación de usos del suelo, evolución de coberturas vegetales, alteración hidrotermal, firmas espectrales de las principales coberturas, etc. En las cuencas de Birrís y Durazno-Virilla se han recopilado las imágenes de teledetección gracias al convenio de la Misión CARTA 2003 y 2005 con la Universidad de Costa Rica. Se han tomado firmas espectrales en campo de los principales usos del suelo en la cuenca de Jabillo (Guanacaste), en Virilla Durazno y se está trabajando en algunos puntos de la fila costeña de Costa Rica con el fin de calibrar las imágenes de teledetección disponibles. En la campaña de campo se realizaron 160 mediciones en 4 tipos de uso.
- **Geología:** el proyecto PCI-AECID apoyó la realización de un estudio de la geología de la cordillera volcánica central de Costa Rica, en la que se ubican numerosas cuencas prioritarias para el agua, empleando técnicas de teledetección. El estudio se titula “DETECCIÓN DE ALTERACIONES HIDROTERMALES EN LA CORDILLERA VOLCÁNICA CENTRAL DE COSTA RICA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT TM” y constituye el PFC de Esperanza Bragado Massa (Ingeniero Geólogo, UPM).
- **Suelos:** Se necesita un conocimiento profundo de los suelos de las cuencas estudiadas, para lo cual se han realizado un total de 20 calicatas en las cuencas de Jabillo y Durazno-Virilla (Costa Rica), incluyendo los análisis de suelos pertinentes para su caracterización edafológica y física.



Figura 2.- Trabajo de Campo en la Cuenca del río Durazno-Virilla (Costa Rica). Fuente: E. Listo, 2009.

- El profesor Warren Forsythe del Laboratorio de Recursos Naturales del CIA, ha diseñado y desarrollado un **infiltrómetro de campo** que ha sido utilizado en las investigaciones aquí descritas, que son prueba de su elevada utilidad, fácil manejo y comodidad para la realización de muestreos extensos de infiltración en campo.
- **Tablas de valores de factor vegetación C.** Se ha desarrollado un extenso trabajo de recopilación de datos a nivel bibliográfico y se han calibrado datos de campo de factor de vegetación C para diferentes coberturas en Costa Rica y Nicaragua.
- **Diseño de alternativas de uso de la tierra.** Se han identificado las alternativas de usos de la tierra que permiten una mayor protección del suelo y generación de servicios ambientales hídricos. Para ello se han realizado trabajos de campo con coberturas en las cuencas de

estudio, así como muestras de suelo y ensayos de infiltración en campo con el infiltrómetro diseñado por la UCR. Estos trabajos se han visto recogidos dentro de las publicaciones (Tabla 1.1), las tesis de Graduación, Maestría o Doctorado (Tabla 1.2) y presentaciones en congresos (Tabla 1.3).

**Tabla 1.1.- Publicaciones realizadas en torno al Programa CAB hasta 2012.**

AUTOR		TITULO
<b>Lianes E. et al.</b>	Agronomía Costarricense 33 (2)	Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales para el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica.
<b>Bragado E.</b>	En Revisión	Detección de alteraciones hidrotermales en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica mediante imágenes Landsat TM
<b>Segura M. et al.</b>	Agronomía Costarricense 29 (2)	Extracción de nutrimentos en plantaciones de jaúl ( <i>Alnus acuminata</i> ) en la cuenca del río Virilla, Costa Rica.
<b>Segura M. et al.</b>	Agronomía Costarricense 29 (2)	Variación del contenido foliar de nutrimentos de <i>Alnus acuminata</i>
<b>Segura M. et al.</b>	Agronomía Costarricense 29 (2)	Respuesta a la fertilización con P en plantaciones de jaúl ( <i>Alnus acuminata</i> ) en andisoles de la cuenca del río Virilla, Costa Rica.
<b>Segura M. et al.</b>	Agronomía Costarricense 30 (1)	Efecto de la fertilización con P sobre la nodulación de <i>Frankia</i> en plantaciones de jaúl ( <i>Alnus acuminata</i> ) en andisoles de Costa Rica.

**Tabla 1.2.- Tesis realizadas en el marco del estudio de alternativas de uso hasta 2012**

AUTOR		TITULO
<b>Bragado, E.</b>	TESIS MAESTRÍA	Detección de alteraciones hidrotermales en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica mediante imágenes Landsat TM
<b>Etxaleku, N</b>	TESIS GRADUACIÓN	Respuesta del jaúl frente a la fertilización fosfórica en andisoles de Costa Rica
<b>Lianes, E.</b>	TESIS GRADUACIÓN	Estudio del factor vegetación "C" de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada "RUSLE" en la cuenca del río Birrís (Costa Rica)
<b>Listo, E.</b>	TESIS MAESTRÍA	Balance hídrico en cuencas forestales prioritarias para el abastecimiento de agua en Centroamérica
<b>Madrigal, L.</b>	TESIS GRADUACIÓN	Evaluación de la cobertura vegetal y su influencia en los procesos de erosión y sedimentación en la cuenca del embalse Apanás - Asturias, departamento de Jinotega, Nicaragua.
<b>Marchamalo, M.</b>	TESIS DOCTORAL	Ordenación del territorio para la producción de servicios hídricos. Aplicación a la cuenca del río Birrís, Costa Rica
<b>Olabarri Powell, J.M.</b>	TESIS GRADUACIÓN	Plan de mejora de los abastecimientos de agua comunitarios del cantón de osa (Costa Rica)
<b>Segura, M.</b>	TESIS MAESTRÍA	Respuesta del jaúl a la fertilización fosfórica en andisoles del cantón de Coronado, Costa Rica



Tabla 1.3.- Presentaciones en Congresos de las investigaciones del Programa CAB durante el año 2009

AUTOR		TITULO	
<b>Alvarado A.</b>	Charla plenaria Congreso XVIII CLACS		Nutrición en bosques y fertilización de plantaciones forestales en Latinoamérica.
<b>Algeet N. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Cambios del uso del suelo durante el periodo 1986-2008 a través del análisis multitemporal de imágenes Landsat en el macizo del volcán Irazú, Costa Rica
<b>Bragado E. et al.</b>	Poster Congreso XIII AET		Delimitación de zonas de alteración hidrotermal en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica mediante imágenes Landsat y del sensor simulador MASTER
<b>Forsythe W. y Marchamalo M.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Bases teóricas y recomendaciones para la simulación de lluvias intensas para medir la infiltración en suelos.
<b>García A. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Resistencia a la penetración e infiltración en las laderas altas del volcán Irazú, Costa Rica
<b>Lianes E. et al.</b>	Ponencia en el Congreso Internacional sobre Avances en estudios sobre desertificación		Estudio del factor "C" de la RUSLE en la cuenca del río Birrís, Costa Rica
<b>Lianes E. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Estudio del factor vegetación de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica
<b>Listo E. et al.</b>	Ponencia Congreso XVIII CLACS		Estudio de las propiedades físicas de los alfisoles en distintos usos del suelo de la cuenca del río Jabillo, península de Nicoya, Guanacaste
<b>Madrigal L. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Evaluación de la cobertura vegetal y su influencia en los procesos de erosión en la cuenca del embalse Apanás-Asturias, departamento de Jinotega, Nicaragua.
<b>Salazar S. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Propiedades de los suelos encontrados bajo diferentes usos de la tierra en la cuenca alta del río Virilla, Coronado, Costa Rica.
<b>Segura M. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Variación del contenido foliar de nutrientes de <i>Alnus acuminata</i> .
<b>Segura M. et al.</b>	Poster Congreso XVIII CLACS		Fertilización con fósforo en plantaciones de jaúl ( <i>Alnus acuminata</i> ) en andisoles de Costa Rica.

Actualmente, los esfuerzos se están concentrando en la actualidad en las cuencas situadas en el Pacífico Sur costarricense dentro de los proyectos financiados por el órgano rector CONARE. La investigación se concentra en las siguientes líneas de trabajo:

1. Evaluación y mejora del suministro de agua potable en las ASADAS del cantón de OSA (Costa Rica). Análisis socio-económico de la problemática entorno al recurso hídrico y evaluación de escenarios sobre una cuenca piloto representativa de la región. Estos estudios se integran dentro del proyecto fin de carrera del estudiante José Olabarri Powell. Está planificada una transferencia de resultados hacia la cuenca alta del Río Viejo (Nicaragua), donde en este caso son las UMAS, las responsables de la gestión del recurso hídrico.
2. Análisis de alternativas de uso de la tierra que permiten una mayor protección del suelo y generación de servicios ambientales hídricos. Se están evaluando los usos del suelo mediante técnicas de teledetección que permiten además realizar un análisis multitemporal de los cambios de estos usos. Próximamente se instalará un equipo completo de monitoreo hidrológico en dos cuencas pilotos seleccionadas (Quebrada Benjamín y Cuenca del río Tinoco, ambas en la Fila Costeña). Los datos obtenidos de este monitoreo se utilizarán para modelizar la respuesta de los diferentes complejos suelo-cobertura ante los eventos de precipitación, con el fin de cuantificar el recurso hídrico disponible para abastecimiento de

la población. Así mismo se está llevando a cabo una caracterización de los suelos de la cuenca en relación a las coberturas encontradas. A partir de estos datos se están generando recomendaciones de manejo que se hacen llegar a los propietarios de las fincas. Estos estudios están integrados dentro de la investigación de tesis doctoral de Dña. Nur Algeet Abarquero **“ORDENACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO Y LAS COBERTURAS VEGETALES MEDIANTE MODELIZACIÓN Y TELEDETECCIÓN EN CUENCAS PRIORITARIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN CENTROAMÉRICA”**.

3. Análisis de las plantaciones forestales de amarillón (*Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell) en laderas en los cantones de Osa y Golfito, como alternativa productiva y como técnica de conservación de suelos, producción hídrica y captura de carbono. En ese sentido, uno de los principales resultados de este trabajo se espera que sea poder ofrecer una serie de recomendaciones claras para los pequeños propietarios de terreno que deseen reforestar sus tierras. Estos trabajos de investigación se enmarcan dentro de la tesis doctoral titulada **“MODELIZACIÓN ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DE LAS PLANTACIONES DE TERMINALIA AMAZONIA (GMEL.) EXCELL EN CENTROAMÉRICA”** de Sr. Jesús Fernández Moya.
4. Estudio de los procesos erosivos en la región de Guanacaste para la Tesis de maestría de Jesús Fernández Moya en el programa de MS.c Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en suelos de la Universidad de Costa Rica.
5. Estudio evapotranspiración-infiltración en bosques con Pagos por Servicios Ambientales para la Tesis de maestría de Sussy Salazar en el programa de MS.c Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en suelos de la Universidad de Costa Rica.
6. Generación de escenarios de cambio Climático para Nicaragua y Costa Rica. Fundación Investigación del Clima. En colaboración con el proyecto CLIMIFORAD –Climate change, Iberoamerican Mountain Forests and Adaptation (BID, CATIE\_UPM-...)

Entre las **actividades con las comunidades** para la sensibilización y divulgación de los resultados como beneficiarios directos podemos destacar algunas según muestra la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4.- Actividades de divulgación y sensibilización de los resultados del Programa CAB hasta Enero 2012**

COMUNIDAD (País)	EVENTO (Año)	TEMA
San Rafael del Norte (Nicaragua)	Taller (2012)	Manejo comunitario de suelos y aguas en Centroamérica
Sierpe (Costa Rica)	Taller (2011)	Manejo comunitario de suelos y aguas en Centroamérica
Cantón de Osa (Costa Rica)	Guía (2011)	Evaluación y mejora del suministro de agua potable en el cantón de Osa, Costa Rica
Costa Pacífico Sur (Costa Rica)	Guía (2010)	Recomendaciones para el manejo de fincas en la Fila Costeña del Pacífico Sur, Costa Rica
Programa CAB (Centroamérica)	Guía (2010)	Recomendaciones para el manejo de coberturas vegetales en cuencas prioritarias para la producción de agua en Centroamérica
Programa CAB (Internacional)	Boletines (2008-2009)	Boletines trimestrales “CAB Centroamerica” (8 boletines)
Jinotega (Nicaragua)	Taller (2009)	Devolución de resultados de los estudios realizados en Jinotega, Nicaragua
Pacayas (Costa Rica)	Taller(2009)	Importancia del manejo de fincas para la conservación de suelos y aguas
Nandaime (Nicaragua)	Taller(2009)	Hidrología de plantaciones de teca
Buena Vista de Pacayas (Costa Rica)	Premio (2005)	“Recordando viejos tiempos con D. Uvaldo Montero”. Ministerio de Cultura y Juventud. Certamen de Tradiciones Costarricenses.



Estas actividades, han sido financiadas por Proyectos de la contraparte Centroamericana y por la Española. Los Proyectos financiados desde España, los cuales han sido ejecutados durante el año 2011 (finalizados a inicios de 2012) son:

- **MAIAS**, **MA**nejo Integral de **A**guas y **S**uelo
- **FORMAIAS**, **FO**rtalecimiento de la **Red** Universitaria para el **MA**nejo Integral de **A**guas y **S**uelo

#### **1.4.1. Proyecto MAIAS**

**Proyecto:** **MA**nejo Integral de **A**guas y **S**uelo

**Coordinador UPM:** Miguel Marchamalo Sacristán

**Financiado por:** fondos UPM solidaridad

**Universidades participantes:** Universidad de Costa Rica (UCR), Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua (UNAN), Universidad Nacional Autónoma De Honduras (UNAH), Escuela Nacional De Ciencias Forestales De Honduras (ESNACIFOR).

**Otras entidades participantes:** Ministerio de salud de Costa Rica, fundación Fabretto-Nicaragua, Bosque Modelo Yoro (Honduras)

**Beneficiarios:** Este proyecto viene a reforzar la actividad que el grupo CAB en la región a través de tres estudios de caso en Honduras, Nicaragua y Costa Rica. Los beneficiarios en cada uno son:

**NICARAGUA:** El grupo de investigación de la UPM ha trabajado así mismo en la cuenca del Rio Viejo (departamento de Jinotega) como parte de las actividades desarrolladas dentro del proyecto PCI-AECID de años anteriores. La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua ha sido contraparte en estos proyectos colaborando en la realización de un proyecto Fin de Carrera financiado a través de la convocatoria de la UPM proyectos fin de carrera para el desarrollo. Esta universidad, forma a su vez parte del Grupo de trabajo Agua, Bosques y Cambio Climático.

Entre los actores destacados dentro de este proyecto se encuentra el Centro La Cuculmeca, que viene trabajando desde hace 20 años en el uso sostenible de los recursos naturales así como en la participación de las comunidades en su propio desarrollo. Los beneficiarios de las acciones planteadas son las comunidades de Estelí, así como el MARENA y ENACAL

**HONDURAS:** La Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) ha colaborado con el grupo de investigación en los dos proyectos PCI-AECID ejecutados durante 2007/2008 y 2008/2009. Profesores del grupo han colaborado además en los programas de posgrado de la UNAH.

Se trabajará con ellos en las actividades asegurando el impacto local de las acciones con las que se busca beneficiar a los casi 75.000 habitantes de las zonas rurales del territorio, a través de la mejora de los abastecimientos de agua potable. Los principales actores implicados son la Mancomunidad de municipios de la cuenca de los Ríos Aguan y Cuyamapa (MAMUNCRA), Gobiernos municipales, organizaciones comunitarias, grupos agroforestales, Asociaciones ecologistas (Amigos de la montaña de Yoro; Visión mundial; Ayuda en acción; Protección a Sulaco; CIAT LADERAS,...). Además este proyecto puede servir como trabajo piloto para la AHJASA (Asociación Hondureña de Juntas Administradoras de Sistemas de Agua), que aportará metodologías y propuestas para la mejora de abastecimientos en estas y otras áreas prioritarias del país.

**COSTA RICA:** La Universidad de Costa Rica es un centro de educación e investigación puntero en la región. Esta Universidad ha sido un colaborador clave de los proyectos y actividades realizadas en Centroamérica en el marco de los proyectos PCI-AECID ejecutados. Los colaboradores de la Universidad de Costa Rica cuentan en estos momentos con proyectos

financiados a nivel nacional en la misma línea de investigación, lo que permite aunar esfuerzos y aumentar el campo de alcance de los mismos.

La zona de estudio seleccionada en Costa Rica se encuentra en la zona sur del país, en uno de los cantones más deprimidos a nivel nacional. El Ministerio de Salud, a través de su sede en Palmar Norte (cantón de Osa) y la ASADA de la comunidad seleccionada (ente gestor del abastecimiento), apoyan los esfuerzos realizados por la mejora de los sistemas de abastecimiento de agua en su área de trabajo a través de la implicación directa de sus técnicos en los estudios de caso y el apoyo directo al estudiante en la zona.

CENTROAMÉRICA: El proyecto también ofrece un marco de trabajo interesante para organización que trabajan en torno a la gestión del recurso hídrico a nivel regional, como son FANCA (Red Centroamericana de Acción del Agua), FUDEU (Fundación para Desarrollo Urbano), CEDARENA (Programa de gestión integrada del recurso hídrico) y CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo)

**Descripción del proyecto:** El proyecto se plantea como un proyecto a doble escala local-regional que afronta de manera integral la problemática del manejo y la sostenibilidad de los recursos hídricos en comunidades rurales en América Central fortaleciendo la red de colaboración universitaria (UPM-UCR-UNAH-UNAN) que se ha generado a partir de la actividad realizada en la región con base a los proyectos PCI-AECID durante los años 2007-2009.

A escala local, el proyecto plantea dos acciones en comunidades rurales con problemas de abastecimiento de agua en distintos países centroamericanos: Nicaragua y Costa Rica. La acción que se plantea en Costa Rica viene a reforzar las acciones directas que se vienen realizando en el país desde 2001 en comunidades con un bajo índice de desarrollo humano, que contrastan con el IDH y PIB del país en su conjunto. Esta acción tiene además una componente estratégica dentro de este proyecto ya que supone la oportunidad de ofrecer a estudiantes de posgrado de Honduras o Nicaragua que realicen la tesis en Costa Rica, generándose así una transferencia de conocimientos técnicos y un intercambio a todos los niveles entre el personal científico-técnico a nivel centroamericano.

El caso de Nicaragua consta de una evaluación de los problemas de los sistemas locales de abastecimiento de agua en las comunidades donde se trabaja, una propuesta de mejora que solventa esos problemas y diseño de esas mejoras. Estas dos acciones se basan en la realización de un Proyecto Fin de Carrera (PFC) a través de beca UPM para PFC de Cooperación al Desarrollo, lo cual supone una oportunidad para el intercambio técnico y sociocultural entre países además de propiciar un impacto directo sobre el abastecimiento de agua en las comunidades.

A escala regional, el proyecto asume la tarea de consolidar la red de colaboración universitaria mencionada anteriormente y que, mediante reuniones, talleres, cursos de formación, acciones directas de campo e intercambios de personal (como el indicado en los puntos anteriores) se faciliten las interacciones entre todos los implicados en la temática del manejo sostenible de los recursos hídricos a nivel centroamericano y se contribuya a mantener y aumentar los lazos con la realidad española, en concreto con la UPM.

**Actividades:**

Las actividades programadas dentro del Proyecto MAIAS aparecen recogidas en la Tabla 2.1.

**Tabla 1.1. Actividades programadas dentro del proyecto MAIAS.**

ACTIVIDAD	BENEFICIARIOS
Elaboración de un proyecto de mejora de la red de abastecimiento actual en Nicaragua: Evaluación y propuesta de mejoras.	Comunidades cuenca alta Rio Viejo (Nicaragua)
Diseño participativo de mejoras propuestas para la cuenca de Nicaragua en la actividad 1.	Comunidades cuenca alta Rio Viejo (Nicaragua)
Realización de tesis de postgrado de un estudiante hondureño bajo la supervisión de profesores de la UCR con un estudio de caso en el pacífico sur de Costa Rica.	Universidad de Honduras/ Universidad de Costa Rica/ Comunidad de San Francisco (Costa Rica)
Reunión del grupo de trabajo Agua, Bosques y Cambio Climático y las Universidad participantes en el proyecto. Reunión a llevar a cabo en Costa Rica.	Universidades participantes / Grupos de cooperación / Entidades locales participantes
Presentación de resultados de los estudios de caso a través de un encuentro en Nicaragua.	Universidades participantes/ Grupos de cooperación/ Grupos de desarrollo locales/ Entidades locales participantes / Gestores locales
Capacitación a los técnicos responsables de los abastecimientos de agua en Nicaragua.	Grupos de desarrollo locales/ Entidades locales participantes / Gestores locales

#### 1.4.2. Proyecto FORMAIAS

**Proyecto:** Fortalecimiento de la Red Universitaria para el Manejo Integral de Aguas y Suelo

**Coordinador UPM:** Miguel Marchamalo Sacristán

**Coordinador Iberoamericano:** Alfredo Alvarado (UCR, Universidad de Costa Rica)

**Financiado por:** PCI-AECID 2010, Proyecto C/0031797/10

**Universidades participantes:** Universidad De Costa Rica (UCR), Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua (UNAN), Universidad Nacional Autónoma De Honduras (UNAH), Escuela Nacional De Ciencias Forestales De Honduras (ESNACIFOR).

#### **Equipo participante**

##### España: UPM (18 personas)

Docentes (7): Miguel Marchamalo; Rubén Martínez; Juan Gregorio Rejas; Beatriz González; Alfonso San Miguel; Santiago Vignote; Margarita Roldán.

Investigadores en formación (8): Alfredo Landa; Luisa Madrigal; Elena Listo; Esperanza Bragado; Sergio de Nicolás; José Olabarri; Francisco Javier Bataller; Armando García.

Doctorandos (2): Carlos de Gonzalo; Sergio Alvarez.

Personal de Administración y Servicios, PAS, (1): Elena Lianes Revilla

##### Costa Rica: UCR (10 personas), contraparte coordinadora en Iberoamerica.

Docentes (5): Alfredo Alvarado; Javier Bonatti; Warren Forsythe; Rafael Mata, Gilberto

Investigadores (3): Carlos Magno; Manuel Camacho; Sussy Salazar.

Doctorando (2): Nur Algeet; Jesús Fernández,

##### Honduras: UNAH (3 personas)

Docentes (3): María Cristina Pineda; Alexis Alejandro Sánchez; Santos Vito Veliz

##### Honduras: ESNACIFOR

Docentes (1): Freddy Joaquín Romero

##### Nicaragua: UNAN (3 personas)

Docentes (3): Katherine Vammen; Valeria Delgado; Yelba Flores.

**Descripción del proyecto:** La acción FORMAIAS se plantea como acción preparatoria dirigida a fomentar la MOVILIDAD Y EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN para fortalecer una red de colaboración interuniversitaria entre España (UPM) y varios países vecinos de Centroamérica (UCR, UNAH, ESNACIFOR y UNAN). Este proyecto se enfoca con una ESCALA LOCAL y ESCALA

REGIONAL que afronta de manera integral la problemática del manejo y la sostenibilidad de los recursos hídricos en comunidades rurales en América Central. El objetivo de esta red es fortalecer el consorcio de Universidades que la conforman con el fin de poder presentar la Acción Integrada "Manejo comunitario de suelos y aguas en Centroamérica" en la próxima anualidad del PCI.

La MOVILIDAD Y EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN se va a realizar basados en estudios de caso reales en comunidades rurales centroamericanas. En ese esquema se consigue: 1) establecer una relación científica bilateral entre instituciones; 2) establecer una relación científica-técnica multilateral mediante reuniones de trabajo, seminarios y talleres en el marco de los casos de estudio.

A ESCALA LOCAL, el proyecto plantea la realización de las visitas de identificación para la formulación de tres acciones en comunidades rurales con problemas de abastecimiento de agua en en Costa Rica, Honduras y Nicaragua. En Costa Rica se quiere reforzar las acciones directas que se vienen realizando en el país desde 2001 en comunidades con un bajo IDH, que contrastan con el IDH y PIB del país en su conjunto. En Honduras y Nicaragua se quiere evaluar los problemas de los sistemas locales de abastecimiento de agua en las comunidades donde se trabaja para diseñar una propuesta de mejora que solvente esos problemas. Estas acciones suponen una oportunidad para el intercambio técnico y sociocultural entre países además de propiciar un impacto directo sobre el abastecimiento de agua en las comunidades.

A ESCALA REGIONAL, el proyecto asume la tarea de establecer la red de colaboración universitaria mencionada anteriormente y que, mediante reuniones, talleres, cursos de formación e intercambios de personal (como el indicado en los puntos anteriores) se faciliten las interacciones entre todos los implicados en la temática del manejo sostenible de los recursos hídricos a nivel centroamericano y se contribuya a mantener y aumentar los lazos con la realidad española, en concreto con la Universidad Politécnica de Madrid. Así mismo, los resultados de este proyecto participarán en otros foros en los que participa el programa Comunidad Agua y Bosque (CAB) como en la RED-CYTED Vulnerabilidad, impactos y adaptación al cambio climático sobre recursos hídricos en Iberoamérica (2010 - 2013).

### Actividades:

Las actividades programadas dentro del Proyecto MAIAS aparecen recogidas en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Actividades programadas dentro del proyecto MAIAS.**

ACTIVIDAD	BENEFICIARIOS
A1: TALLER-REUNIÓN "Manejo comunitario de suelos y aguas en Centroamérica" del grupo de trabajo Agua, Bosques y Cambio Climático. Coordinado por los participantes de la Universidad de Costa Rica. Asistirán participantes del resto de instituciones colaboradoras. Comunidades cuenca alta Rio Viejo (Nicaragua)	
A2: TALLER-SEMINARIO en Nicaragua: "Diseño participativo de mejoras para el sistema de abastecimiento de agua en la zona sur de Costa Rica". Transferencia de los conocimientos y experiencias adquiridas. Elaboración de nuevas propuestas adaptadas a la situación local en Nicaragua. Coordinado conjuntamente por UPM-UCR-UNAN. Comunidades cuenca alta Rio Viejo (Nicaragua)	
A3: VISITAS a campo para la elección de cuencas de estudio para la mejora de sistemas de abastecimiento de agua en zonas de rurales de los países participantes. Cada institución coordinada las visitas a campo en su país. Los resultados de estas visitas se compartirán telemáticamente y se pondrán en común en la actividad 4. Universidad de Honduras/ Universidad de Costa Rica/ Comunidad de San Francisco (Costa Rica)	
A4: REUNIÓN en España para la planificación y formulación de la acción integrada "Manejo comunitario de suelos y aguas en Centroamérica" para la próxima anualidad del PCI. Coordina la UPM y asisten representantes centroamericanos. Universidades participantes / Grupos de cooperación / Entidades locales participantes	

### 1.5. Reuniones

Durante la ejecución del proyecto **MAIAS (MAnejo Integral de Aguas y Suelo)** y **FORMAIAS, (FORTalecimiento de la Red Universitaria para el MAnejo Integral de Aguas y Suelo)** se realizaron dos reuniones-seminarios en Centroamérica, una en Sierpe (Costa Rica, Julio 2011) y la otra en San Rafael del Norte (Nicaragua, Enero 2012). Adicionalmente, hubo la oportunidad de recibir a parte del equipo de las Universidades contrapartes de Costa Rica y Nicaragua en nuestra Universidad, la Universidad Politécnica de Madrid.

Entre los resultados obtenidos de estas reuniones, dedicamos los tres próximos epígrafes para dejar constancia de los trabajos científicos en los que se ha trabajado. Se estructura este epígrafe agrupando dichos trabajos por países donde se han ejecutado: Nicaragua, Honduras y Costa Rica.

Los trabajos sobre Nicaragua han sido realizados por personal investigador (docentes y estudiantes) de:

- Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN)
- EUIT Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Estos trabajos fueron compartidos durante la reunión en San Rafael del Norte y Managua (Nicaragua).

Los trabajos sobre Honduras han sido realizados por personal investigador (docentes y estudiantes) de:

- Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica (DCTIG-FACES) de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
- Red Iberoamericana de Bosques Modelo, bosque Modelo Yoro
- ETSI Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial de España (INTA)

Estos trabajos fueron presentados durante la reunión en Sierpe (Costa Rica) y uno de los cursos en Tegucigalpa (Honduras) en el marco de la maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio impartido organizada por la UNAH y la Universidad de Alcalá (UAH), con el apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Los trabajos sobre Costa Rica han sido realizados por personal investigador (docentes y estudiantes) de:

- Centro de Investigaciones Agronómicas(CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR)
- ETSI Caminos, Canales y Puertos; ETSI Agrónomos; ETSI Montes; EUIT Agrícola y EUIT Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Estos trabajos fueron presentados durante las reuniones en Sierpe (Costa Rica) y en San Rafael del Norte y Managua(Nicaragua).



## **2. CAB 2012: EXPERIENCIAS EN NICARAGUA**





## **LOS RECURSOS HÍDRICOS DE NICARAGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.**

K. Vammen <sup>(1)</sup>, Iris Hurtado <sup>(2)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [kvammen@cira-unan.edu.ni](mailto:kvammen@cira-unan.edu.ni)

(2) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [iris.hurtado@cira-unan.edu.ni](mailto:iris.hurtado@cira-unan.edu.ni)

Con el fin de evaluar el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos de Nicaragua, se elaboró una evaluación del recurso agua tomando en cuenta la disponibilidad, estado actual de suministro y los principales problemas del recurso en diferentes cuencas del país para luego relacionar los tres principales impactos del cambio climático determinado por diferentes estudios de instituciones nacionales e internacionales.

Nicaragua cuenta con una gran riqueza potencial de recursos hídricos; sin embargo ha sido evaluado como país con escasez económica del agua (International Water Management Institute, 2007) debido a factores de calidad y problemas económicos y de gobernanza. En los últimos años se ha progresado en cuanto su marco legal, Ley General de Aguas Nacionales (Ley 620) (La Gaceta, 2007) y su reglamento, aprobado en 2007, que establece la base para mejorar la gobernanza y existen avances en la formación de profesionales con capacidad para mejorar la gestión integrada de sus cuencas hidrográficas. La disponibilidad del recurso cuenta con una condición básica de precipitación media anual de 2391mm (INETER, 1997), es estable en el tiempo pero existen variaciones geográficas que se expresa con mayor incidencia en la vertiente Atlántico e influido por eventos extremos del Niño y la Niña. Hidrográficamente Nicaragua tiene 21 cuencas en dos vertientes del Pacífico (12,183.57 km<sup>2</sup>) y Atlántico (117,420.23 km<sup>2</sup>). Se destacan los dos grandes lagos Nicaragüenses, Lago Xolotlán y Lago Cocibolca. No existe información completa de balances hídricos por cuenca pero según algunos estudios preliminares muestran resultados en que 93% de las aguas superficiales se encuentran en la zona Atlántico con volumen de escurrimiento estimado en 48,404 Mm<sup>3</sup>/año y para el Pacífico 3,479.3 Mm<sup>3</sup>/año. La recarga subterránea ha sido evaluado en detalle solamente en el vertiente del Pacífico donde la cuenca 64 Entre Volcán Cosiguina y río Tamarindo se destaca por mayores volúmenes de recarga. La disponibilidad se encuentra afectada por problemas de calidad de agua en todo el país. Actualmente la disponibilidad es suficiente para cubrir la demanda existente; sin embargo existen contradicciones en la distribución de la infraestructura de suministro que podrían causar problemas en el futuro bajo condiciones del cambio climático. 86% de la población se ubica en la vertiente del Pacífico (INIDE, 2006) donde hay solamente 6% del agua superficial. Las estrategias de extracción han priorizado el uso de agua subterránea que representa 70% de abastecimiento de agua potable. El sector agropecuario ha consumido 83% del agua extraído (CONAGUA y WWC 2006) seguido por el sector industrial en 14% y el sector domestico en 3%. La cobertura de agua potable en la zona urbana es de 77% y en el área rural de solamente 56%. La demanda de agua para uso doméstico se ha incrementado anualmente como resultado del alto crecimiento poblacional del país; a pesar de ello el suministro municipal no ha sido aumentado congruentemente. Existen zonas del Pacífico y Central vulnerables a sequías que ha afectado el suministro de comunidades. El uso del agua para la agricultura ha sido principalmente con fuentes subterráneas concentradas en el Pacífico en los departamentos de León y Chinandega. El riego se emplea principalmente para los cultivos de la

caña de azúcar, el arroz, el ajonjolí, el tabaco y el sorgo. Los servicios de saneamiento expresado en acceso a alcantarillado tienen una cobertura de solamente 25% en el país donde 36 ciudades cuentan con sistemas. Se considera que el agua contaminada y la falta de saneamiento constituyen la segunda causa de muerte a nivel mundial reflejado en Nicaragua en la alta tasa de morbilidad por EDA.

El crecimiento alto de la población, en sinergia con la deficiente infraestructura sanitaria (tanto para desechos líquidos como sólidos), la alta densidad poblacional, la pobreza y la ausencia de medidas de ordenamiento territorial ha provocado el deterioro ambiental que se refleja en la calidad del agua. La conversión de los suelos con potencial forestal a pastos para la ganadería extensiva es común en la mayoría de las cuencas especialmente del gran Lago Cocibolca donde el suelo para pasto ha logrado un 75.1%; esto está causando una aceleración en el proceso de eutrofización en los ríos y lagos (Vammen et al. 2006). En las cuencas, por ejemplo la cuenca 64, donde predominan el uso de los aguas subterráneas para riego por cultivos de agro exportación, existen problemas de sobre explotación y la aplicación de agroquímicos que han contaminado las aguas en el pasado con plaguicidas persistente y actualmente. Se ha identificado problemas de contaminación natural por arsénico en la región Noroeste y Suroeste. En las áreas mineras y por actividades industriales se ha encontrado mercurio en los recursos de agua superficial.

Para implementar la Agenda de la Convención Marco de las naciones Unidas sobre Cambio Climático se formó la Oficina Nacional de Desarrollo Limpio que tiene la función de coordinar las actividades con el tema del Cambio Climático en Nicaragua. En dos Comunicaciones Nacionales sobre Cambio Climático se ha evaluado los efectos del cambio climático en Nicaragua y ha señalado tres efectos principales, 1) asociado al aumento de la temperatura y cambio en el régimen y cantidad de precipitación se espera períodos de sequías en zonas específicas que resultará en disminución del nivel freático y escorrentía, 2) aumento de amenazas naturales que pueden afectar los recursos hídricos y 3) la elevación del nivel del mar pueden afectar zonas más propensas a inundaciones como la costa Atlántica, un aumento en erosión en áreas costeras e intrusión salina. Tomado en cuenta la demanda y disponibilidad de agua los impactos del cambio climático pueden conducir a una alta vulnerabilidad en la Región del Pacífico donde se ubica 54% de la población del país. Además es en esta región donde se encuentra las ciudades más grandes, el mayor desarrollo industrial y agrícola lo que aunado a la dependencia total del agua subterránea y la proyección de la disminución de recarga por los cambios de temperatura y precipitación crean una situación de alta presión en el recurso hídrico subterráneo. Se esperan condiciones de escasez que impacten el bienestar de la población y reduzcan la posibilidad de desarrollo económico en la región. A nivel nacional, de los usos del suelo analizados, los bosques son los más importantes en la generación de servicios ecosistémicos para el sector agua potable. El Lago Cocibolca fue declarado como reservorio de agua potable de Nicaragua. Es necesario avanzar en la introducción de programas para proteger la calidad de agua de este lago lo que implica medidas para evitar la erosión y reducir la entrada de nutrientes, controlar el uso de plaguicidas y avanzar en la introducción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los 30 municipios de la cuenca.

Las tendencias de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos de Nicaragua, considerando proyecciones optimistas y pesimistas, significan la necesidad de realizar cambios rápidos en la gobernanza de este recurso. La planificación y aplicación de nuevos programas de adaptación requieren contar con información con mayor detalle sobre las fuentes de aguas subterráneas en las tres regiones del país para introducir obras de recarga del acuífero y para comprender los procesos de degradación de los cuerpos superficiales y de todo el sistema hidrológico. Es clave para el país reforzar la formación de profesionales con más capacidad de investigación en las ciencias del agua y en la gestión integrada de cuencas, además del reforzamiento y la aplicación de las capacidades técnicas.

### **Literatura citada**

- INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE. 2007. The Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, System wide Initiative on Water Management (SWIM) ([www.iwmi.cgiar.org/assessment](http://www.iwmi.cgiar.org/assessment)).
- LA GACETA. 2007. Diario Oficial de la República de Nicaragua, No. 169. Ley No. 620,
- LEY GENERAL DE AGUAS NACIONALES. 2007. Publicada el 4 de Septiembre del 2007.
- INETER. 1997. Dirección General de Meteorología. Perspectivas de las precipitaciones en Nicaragua ante un evento ENOS, Documento Técnico. Gutiérrez M.
- INIDE. 2006. Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Anuario Estadístico 2006.
- INIDE. 2003-2004. Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Compendio Estadístico 2003 - 2004 y Anuario Estadístico 2006.
- CONAGUA y WWC (2006). Comisión Nacional de Agua y World Water Council, Datos de extracción de agua en Centroamérica. Presentado en Foro Mundial del Agua México, 2006.
- VAMMEN, K., J.PITTY, MONTENEGRO GUILLÉN, S. (2006). Evaluación del Proceso de Eutrofización del Lago Cocibolca, Nicaragua y sus Causas en la Cuenca. Eutrofización en América del Sur, Consecuencias y Tecnologías de Gerencia y Control, Instituto Internacional de Ecología, Interacademic Panel on International Issues, 35-58.

**EL SAT, más allá que un bachillerato rural: experiencias en Conservación de Agua y Suelo con Jóvenes del Programa SAT**

**CARMEN AGUIRRE <sup>(1)</sup>, JOSÉ DOMINGO GONZALES <sup>(2)</sup>**

(1) Asociación Familia Padre Fabretto. Nicaragua.

(2) Asociación Familia Padre Fabretto. Coordinador de SAT. Nicaragua

Las Asociación Familia Padre Fabretto es un ONG que tiene como misión: Empoderar a las niñas y niños y sus familias en Nicaragua, para que puedan alcanzar su potencial, mejorar su nivel de vida, y aprovechar oportunidades de desarrollo económico, a través de educación y nutrición. Y como Visión Inspirado por el legado de servicio del Padre Fabretto, visionamos una Nicaragua prospera donde las niñas, los niños y los adolescentes tienen oportunidades significativas de crecer y aprender, en comunidades que ofrecen acceso a educación de calidad, para que puedan alcanzar su potencial. En busca de cumplir su misión y su visión a través de diferentes programas de educación como El Programa Sistema de Aprendizaje Tutorial SAT que ha desarrollado una metodología que hace posible que cualquier individuo- joven o adulto- de la más remota región campesina pueda tener acceso a la educación secundaria. Además, esa manera creativa de socializar los beneficios de la educación se complementa con unos contenidos que, en forma muy novedosa también, organizan el conocimiento relevante, mucho del cual se sustenta en las experiencias alrededor de los distintos procesos de la vida comunitaria rural, mediante un esquema de investigación-acción-aprendizaje.

La estrategia permite dotar a los jóvenes del sector campesino con la capacidad para promover el bienestar individual, familiar y comunitario.

El esquema surgió de un análisis de la información, las destrezas y los conceptos que era necesario impartir a los estudiantes, y de las actitudes y capacidades que tendrían que desarrollar para poder abordar a distintos niveles la problemática del desarrollo y bienestar rural.

En el programa no se enfatiza en la memorización de grandes cantidades de información sino mas bien se orienta a los estudiantes para que aprendan a encontrarla y utilizarla en el momento necesario, dicha información les permite que el estudiantes pueda desarrollar capacidades progresivamente durante su ciclo académico y la vez relacionar la información con las condiciones de su comunidad y poder emprender iniciativas de auto sostenibilidades.

Las destrezas se consideran en general como habilidades que se pueden desarrollar a corto plazo y se relacionan con acciones sencillas que no necesitan mucho análisis mental para efectuarlas. Acciones como contar, aplicar o no un insecticida, preparar un pequeño galpón de aves, manejar el microscopio, son destrezas básicas para desarrollar acciones mas complejas.

Con el termino de “actitudes” se hace referencia a la manera como los individuos se comportan frente a distintas situaciones, otras personas y objetos. Se reconoce que las actitudes dependen de factores tanto individuales como sociales que se pueden modificar y que se manifiestan en el comportamiento, especialmente en el no verbal.

Los jóvenes y los padres de familia del Programas Sistema de Aprendizaje Tutorial SAT desarrollan actividades que les permitan un desarrollo económico familiar y comunitario, trabajándose en dos etapas:

➤ **Iniciativas Productivas:** Las iniciativas productivas son todas aquellas actividades agrícolas, pecuarias y comerciales que son trabajadas de manera colectivas (todo el grupo de estudio), que tienen como objetivo principal que los jóvenes obtengan conocimientos sobre manejo técnico de la actividad seleccionada y como segundo objetivo que obtengan una rentabilidad económica.

1. Los fondos obtenidos de dichas actividades son utilizados para aporte de texto, compra de materiales de limpiezas o actividades de despedidas de año o cumpleaños de los estudiantes.
2. Las actividades son evaluadas por los tutores en el área de educación práctica.
3. El tutor guía a los estudiantes durante el transcurso de la actividad y garantiza que todos los conocimientos adquiridos en los textos se pongan en práctica.
4. Al final de cada actividad evalúa todo el proceso en conjunto con los estudiantes para identificar cuales fueron sus logros y dificultades para mejorar en la siguiente actividad y le sirva de experiencia al momento de emprender su propia iniciativa de negocio.
5. En esta etapa los jóvenes desarrollan sus características / cualidades emprendedoras:
  - Cualidades: Responsabilidad, honestidad, veracidad, justicia, tenacidad, creatividad, positivismo, asume riesgo, etc..
  - Capacidades: Aprende a organizar datos y grupo de personas, a dirigir a los demás, gestionar por su propia cuenta lo que necesita y lo que quiere, a identificar las posibles alternativas de soluciones a los problemas presentados, a seleccionar alternativa de acuerdo sus rentabilidades económicas y de acuerdo con los recursos con que se cuenta. *Dentro de los textos donde los jóvenes desarrollan y adquieren estas capacidades están:*
    1. Herramientas contables: Suma y Resta, manejo del dinero, organización de datos.
    2. *Agrónomos:* lotes DAE, sembrando cultivos, Manejo de la Diversidad de las especies, Preservemos nuestro recurso genéticos, Temas Medio Ambientales, Proceso productivos, cría de pollo, aritmética en la investigación científica. Estos les permiten comunicarse directamente con la comunidad.

➤ **Iniciativas de Negocio:** Es la etapa donde el joven ponen en práctica los conocimientos adquiridos en los textos SAT y en las prácticas realizada con el tutor anteriormente.

- Los jóvenes deben presentar su propuesta de proyecto (por escrito) para su posible aprobación de crédito a través de la cooperativa “Impulsores de bienestar comunitario” o de otros fondos que sean posibles.
- Los grupos emprendedores deben de ser de 3 a 4 integrantes (jóvenes o padres de familias) en el cual deben tener un comisión económica.
- Se les realizan préstamo como fondos revolving, el cual debe ser cancelado independientemente de los resultados productivo y económico obtenidos. Estos ingresos entran a la contabilidad de la cooperativa.
- Cuando la actividad económica tiene un plazo de 12 meses de estar funcionando activamente se le realiza un plan de negocio.
- Deben llevar un registro contables (libros caja, balance general, estado de pérdidas y ganancias, flujo de caja etc.).
- Se les debe brindar capacitaciones, talleres e intercambio de experiencias que les permite a los jóvenes SAT o tutores lograr un desarrollo económico en su actividades de Iniciativas de negocio.

Los jóvenes SAT deben ser agentes de cambio en sus comunidades, Municipio y País; por tal razón son productores, emprendedores que se organizan con un objetivo en Común. Deben identificar actividades económicas que les generen conocimientos técnicos y que les permita realizar un uso racional de los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) y que les genere ingresos económicos. Estos grupos de jóvenes y padres de familia trabajan con la cría y engorde de pollos, actividades comerciales (Acopio de granos básicos y panaderías etc.), producción de granos básicos (Maíz, Frijoles y sorgo), producción de hortalizas a nivel de huertos familiares y parcelas productivas (tomate, cebolla, chiltoma, papa, pipián.....).

La conservación y protección del medio ambiente es un objetivo transversal del Programa Sistema de Aprendizaje Tutorial SAT donde los jóvenes desarrollan actividades como la implementación de viveros forestales, plantaciones y manejo de los bosques. Realizan un uso integral del recurso hídrico en las actividades productivas de desarrollo económico que implementan, así mismo promueven un saneamiento del agua, por eso *EL SAT, Más allá que un bachillerato rural, Es un programa que promueve la acción social.*

## **RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES ANTROPOGENICAS AL LAGO COCIBOLCA**

### **Uso de la Herramienta de Modelo Environmental Risk System (ERS)**

Yelba Flores<sup>(1)</sup>, Selvia Flores<sup>(1)</sup>, Steve Schill<sup>(2)</sup>, Vincent Abreu<sup>(3)</sup>,

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni)

(2) The Nature Conservancy. Santo Domingo, Dominican Republic. [sschill@TNC.ORG](mailto:sschill@TNC.ORG)

(3) University of Michigan. Estados Unidos. [abreu@umich.edu](mailto:abreu@umich.edu)

### **Resumen**

El Lago Cocibolca, representa una fuente estratégica de agua para Nicaragua y la Región. Aunque se realizan esfuerzos para su conservación y manejo, no se cuenta con un plan de Gestión de la Cuenca. En este trabajo, el CIRA/UNAN, MARENA y Fundación Ciudad del Saber, han utilizado la herramienta de modelo Environmental Risk System (ERS), para definir las microcuencas que representan mayor riesgo de contaminación, evaluando las actividades económicas de 30 municipios, que se desarrollan en la cuenca del lago Cocibolca. Las actividades de la población se consideran fuentes potenciales de contaminación; entre estas son: la agricultura, la deforestación, la ganadería y los efluentes domésticos e industriales. La calidad del agua desde los tributarios, ha presentado concentraciones altas de Fósforo Total y Sólidos Disueltos, lo cual incide negativamente en la calidad del agua del Lago. Esta carga está acelerando el proceso de eutroficación del Lago. La herramienta ERS, permitió definir las microcuencas que representan mayor riesgo, lo que fue corroborado con los análisis de calidad de agua de tributarios y el lago. Los resultados pueden ser utilizados para impulsar de manera urgente un programa nacional de monitoreo y gestión para la conservación del recurso hídrico. Este trabajo sirve de base general de planificación para las instituciones involucradas en la Gestión Ambiental del Lago Cocibolca.

**Palabras claves:** Riesgo, Cocibolca, Modelo ERS.

### **Introducción**

La cuenca del Lago Cocibolca abarca un área aproximada de 15550.74 km<sup>2</sup> desde donde 18 ríos permanentes, drenan hacia el cuerpo de agua, que cubre aproximadamente 8,000 km<sup>2</sup>. Cuenta con una única salida superficial, el río San Juan que sirve de frontera con el vecino país de Costa Rica. Son treinta municipios, de 7 departamentos que comparten la cuenca del lago Cocibolca, situación que le confiere mayor complejidad para su manejo. De acuerdo a las actividades que se realizan sobre la cuenca, se identifican una serie de fuentes de contaminación tanto puntuales como no puntuales. Las industrias en general descargan sus efluentes a los tributarios o directamente al lago. Los desechos líquidos y sólidos municipales, no cuentan con un adecuado tratamiento; eventualmente los contaminantes generados llegan al lago por escorrentía superficial.

Por considerarse un sistema hídrico óptimo para el desarrollo del país, los gobiernos municipales, han promovido la conservación y uso sostenible de la cuenca, Figura 1. Atendiendo a esta iniciativa, se creó, a través de la Ley 626, la Comisión de Desarrollo Sostenible de la Cuenca Hídrica del Lago Cocibolca y el Río San Juan, cuyo objetivo es coordinar la aplicación de políticas, planes y acciones ambientales y de desarrollo, para su protección y conservación. Estos planes y políticas,

deben estar basadas sobre una correcta evaluación de intervención en las microcuencas, a fin de optimizar recursos humanos y financieros.



**Figura 1. Lago Cocibolca. Panorámica de la Isla de Ometepe.**

Dada la importancia del Lago Cocibolca para Nicaragua y la Región Centroamericana, el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA/UNAN, en conjunto con Fundación Ciudad del Saber y el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales MARENA, evaluó, a través de la herramienta de modelo Environmental Risk System (ERS), (Steve & Raber, 2006), el riesgo de contaminación al que está sometido la calidad del agua del Lago Cocibolca, desde sus tributarios. La implementación del modelo, con interface ArcGIS9.2, se basó en la evaluación de los factores de riesgo al ecosistema Lago Cocibolca, que consiste en la acumulación de riesgo desde las microcuencas.

El objetivo principal es establecer las relaciones entre las actividades antropogénicas y el riesgo de contaminación al Lago Cocibolca. De acuerdo a estas relaciones, se obtiene la representación gráfica del nivel de incidencia en la contaminación al agua del lago Cocibolca. De esta manera, los gobiernos municipales, ONG's, instituciones gubernamentales y otros, pueden enfocar las acciones de conservación y recuperación en las microcuencas que ejercen mayor presión a la calidad del agua del Lago Cocibolca. La representación de riesgo obtenida, puede servir a los tomadores de decisiones a declarar áreas protegidas, donde se presenta bajo riesgo y áreas de intervención donde se presenta alto riesgo de contaminación.

## **Material y Método**

### **Muestreo en Campo**

A fin de correlacionar los resultados del modelo, con la situación del agua del Lago, se realizaron dos campañas de muestreo, casi simultáneo. La primera campaña, en el Lago, se realizó en 6 perfiles de 8 sitios, para un total de 48 muestras. Se analizaron los parámetros físico-químicos de pH, conductividad, temperatura y transparencia; se evaluaron las concentraciones de Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos (SS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Fósforo Total (PT) y Carbono Orgánico Disuelto (COD); se midieron las concentraciones de clorofila-a, fitoplacton y bacterias totales. Para contar con datos precisos del potencial de contaminación al lago, una segunda campaña de muestreo sirvió para verificar los datos de uso de suelo. Desde los tributarios se analizó la concentración de Nitrógeno Total (NT), PT, Demanda Química de Oxígeno



(DQO) y SS. Se midió T, pH y Conductividad Eléctrica (CE). Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio del CIRA/UNAN. La evaluación del uso del suelo y actividades en la cuenca, permitió determinar las fuentes puntuales y fuentes difusas de contaminación., las cuales fueron evaluadas para ser usadas en el modelo ERS.

#### Modelo de Superficie de Riesgo Ambiental del Lago Cocibolca

Los datos de entrada al modelo son las actividades económicas georeferenciadas, que se dividen en fuentes puntuales y fuentes difusas de contaminación. A estas fuentes se le asigna el grado de intensidad e influencia en la calidad del agua del lago en una escala del 1 al 100, definida con el grupo de expertos participantes. También se considera la distancia de influencia de cada una de las actividades, la elevación del terreno, pendiente y precipitación. El método toma en cuenta la dirección de flujo de los tributarios. El riesgo de contaminación es acumulativo, y se determina de dos formas: acumulación de flujo en los cauces y acumulación de la intensidad de riesgo por cuenca. Ambos resultados sirven de guía para los planes de manejo integrado de cuenca.

### **Resultados y Discusión**

#### Calidad del Agua

Los terrenos de las cuencas tributarias han sido deforestados para la ganadería y agricultura. En las riberas se cultiva arroz, caña de azúcar y con intensidad plátano, en la isla de Ometepe. El control de aplicación de agroquímicos es deficiente. Predominan las industrias lácteas en las Cuencas del Este (Boaco y Chontales). Atendiendo al uso del suelo se tomaron variables físico-químicos que permiten identificar el tipo de contaminante que drena hacia el lago.

La calidad del agua desde los tributarios es variada. Los valores de pH fluctuaron entre 7.05 y 8.50 (Mayales y Oyate, respectivamente), la conductividad eléctrica (CE) osciló entre 65.9 a 728.0  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . En los ríos Tule, Camastro, Piedra, Oyate, Acoyapa, Mayales y Malacatoya, son superiores a 250  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ; relativamente anómalos para ríos sobre medio rocoso. Los ríos Tule, Camastro, Piedra, Oyate, Acoyapa, Mayales, Malacatoya, Sapoá y Sábalos, presentan las mayores concentraciones de PT (0.054-0.602  $\text{mg.l}^{-1}$ ), sobre los valores recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de USA (EPA), para prevenir los procesos de eutrofización en cuerpos de agua lóticos. El río Mayales registró la mayor concentración de NT (1.5  $\text{mg.l}^{-1}$ ), seguido por el Tule (0.85  $\text{mg.l}^{-1}$ ), Camastro (0.71  $\text{mg.l}^{-1}$ ) y Acoyapa (0.63  $\text{mg.l}^{-1}$ ). Las aguas servidas presentan una concentración de PT de 25.09  $\text{mg.l}^{-1}$  para la ciudad de Boaco (vertido doméstico crudo), 16.33  $\text{mg.l}^{-1}$  para Rivas (efluente parcialmente tratado) y 10.11  $\text{mg.l}^{-1}$  para Granada (efluente tratado), indicando deficiencia en el tratamiento.

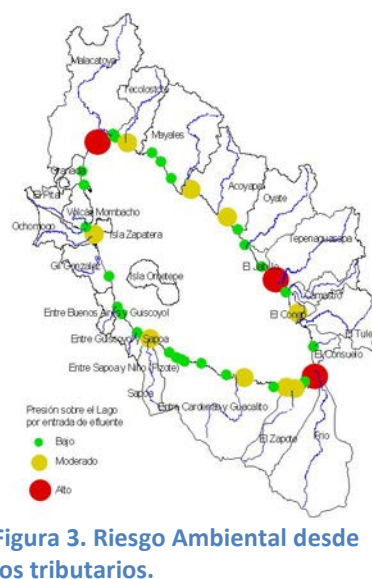
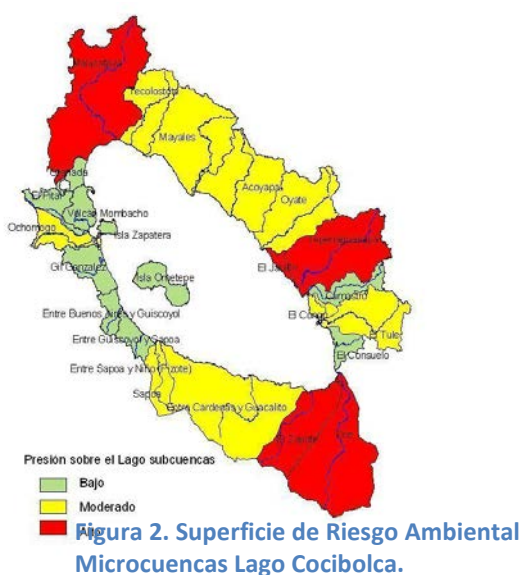
La DQO en los efluentes de aguas domésticas fue de 1690,14  $\text{mg.l}^{-1}$  para Boaco, 306.73  $\text{mg.l}^{-1}$  para Rivas y 237.87  $\text{mg.l}^{-1}$  para Granada (éstas últimas con tratamiento parcial). Los valores se presentan superior a los establecidos por el decreto 33-95 (180  $\text{mg.l}^{-1}$  de DQO), para efluentes de aguas tratadas de industrias y alcantarillados a cuerpos de agua receptores. En los efluentes domésticos de las ciudades de Boaco (sin tratamiento), Rivas y Granada (con tratamiento primario), se reportaron valores altos de SS, (1253  $\text{mg.l}^{-1}$ , 165.71  $\text{mg.l}^{-1}$  y 147  $\text{mg.l}^{-1}$ , respectivamente). Considerando el valor reportado por Metcalf & Eddy, 1981., de entre 100 a 350  $\text{mg.l}^{-1}$ , para aguas sin tratar, es notorio la ineficiencia del tratamiento en las ciudades mencionadas.

Toda esta carga contaminante drena hacia el Lago, sumado a las presiones internas de la Isla de Ometepe y el cultivo de tilapia. El sistema lacustre sufre cambios en su composición química y simplificación en la estructura biótica.

Para el lago Cocibolca, se ha comparado los resultados actuales, con los obtenidos durante el Estudio PROCUENCA, (CIRA/UNAN-MARENA, 2002-2003); el pH registra poca variación (7.69-8.49 en 2002 y 7.86-8.95 en 2006). Para 2003, se concluyó que durante un período de 9 años, la concentración de NT en el lago se triplicó (1994:  $100 \mu\text{g l}^{-1}$ , 2003:  $382 \mu\text{g l}^{-1}$ ) y la de PT se duplicó (1994:  $26 \mu\text{g l}^{-1}$ , 2003:  $47 \mu\text{g l}^{-1}$ ). Estos cambios coinciden con variaciones de uso de suelo, (García Galán, 2004). Para el año 2006, la concentración promedio de PT fue de  $53 \mu\text{g l}^{-1}$ , notándose claramente el proceso de eutrofización. Las Cianophytas presentaron la mayor concentración de biomasa con aporte al peso húmedo de 99%, sobresaliendo la especie *Microcystis aeruginosa*., indicadora de eutrofización. La concentración de clorofila-a para Mayo de 2006 osciló entre 57.79 y  $38.67 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Los valores obtenidos de Chl-a, están dentro del rango de 10-500  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , en el cual se considera la condición eutrófica del cuerpo de agua. (Jørgensen, 1980).

### Superficie de Riesgo Ambiental

En la evaluación del riesgo, las zonas agropecuarias se valoran como de mayor intensidad, debido a la deforestación y la aplicación de agroquímicos. Las zonas de pendiente mayor de 30%, se consideran vulnerables a la erosión. Integrando las variables de modelo de fuentes puntuales, pendiente, distancia, precipitación y dirección de flujo, se ha obtenido la imagen de Superficie de Riesgo Ambiental para las microcuencas que drenan al Lago Cocibolca (Figura 2) y desde su cauce principal (Figura 3). Se observa entonces que las microcuencas de Malacatoya, Tepenaguaspa, Frío y Zapote ejercen alta presión a la calidad de agua del lago Cocibolca. Las microcuencas Tecolostote, Mayales, Acoyapa y Oyate, Sapoá y las microcuencas del sur, ejercen presión moderada, mientras que desde el Volcán Mombacho, El Pital, La isla de Ometepe y las Cuencas de Ricas y Granada excepto Ochomogo, ejercen una baja presión, que puede deberse a su poca intervención.



## **Conclusión**

A través de la Herramienta de Toma de Decisiones Environmental Risk System (ERS), se determinó que las microcuencas que representan mayor riesgo a la calidad del agua del Lago Cocibolca son Malacatoya y Tepenaguasapa al Este y Zapote y Frio al Sur, Los resultados del Modelo, son concordantes con los datos de calidad de agua de estos ríos, por las concentraciones altas de Fósforo y Sólidos Disueltos Totales. Las microcuencas que presentan mayor riesgo, deben ser consideradas zonas prioritarias de intervención, mientras que las que presentan menor riesgo, pueden ser tomadas en cuenta como zonas de protección.

## **Agradecimiento:**

Agradecemos la colaboración de la Organización The Nature Conservancy por el apoyo técnico brindado y la donación del programa ArcGIS, a la Fundación Ciudad del Saber por el financiamiento del Proyecto. Reconocemos además la cooperación del personal de SINIA-MARENA, especialmente a la MSc. Carolina Coronado, coordinadora SINIA-MARENA, durante el período de estudio.

## **Literatura citada**

- CIRA/UNAN-MARENA. 2002-2003. *Síntesis de los Estudios Básicos Cuenca del Río San Juan*.
- GARCÍA GALÁN, R. A. 2004. *Evaluación Trófica del Lago Cocibolca*. Managua.
- JØRGENSEN, S. E. 1980. *Lake management*.
- PROCUENCA. 2002-2003. *Estudios Básicos Cuenca del Río San Juan*. Managua.
- STEVE S, RABER G. 2006. *Sistema de Apoyo a las Decisiones (DSS) para Identificar Brechas en Áreas Protegidas con ArcGIS 9.1. MANUAL DEL USUARIO y CURSILLO*.

## **EVALUACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU INFLUENCIA EN LOS PROCESOS DE EROSIÓN EN LA CUENCA DEL EMBALSE APANÁSASTURIAS, DEPARTAMENTO DE JINOTEGA, NICARAGUA**

Luisa Madrigal <sup>(1,2)</sup>, Miguel Marchamalo <sup>(2)</sup>, Margarita Roldán <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. [lumad06@gmail.com](mailto:lumad06@gmail.com)

(2) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid.

Este trabajo tiene por objeto profundizar en el conocimiento de los procesos de erosión, obteniendo coeficientes técnicos de cobertura vegetal. Ha sido realizado en la cuenca de Apanás por ser una cuenca importante a nivel nacional, representativa de la región Centroamericana.

Las parcelas de muestreo seleccionadas representan las diferentes coberturas vegetales de la región. El cálculo de los subfactores previos al factor de cobertura vegetal C se realizó con base en la formulación original de la RUSLE, extraída de Renard et al. (1996), efectuando la toma de datos en campo. Como apoyo se evaluó la vocación de la tierra en cada parcela mediante la Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica (MAG y MIRENEM, 1995). Los resultados indican como factores determinantes de la capacidad de uso de las parcelas, en el 64% de los casos, la pendiente y la profundidad del terreno. Las parcelas de café, tacotales, pastizales y hortalizas presentan un uso acorde con la vocación de la tierra, aunque en estas últimas deben aplicarse prácticas de conservación de suelos continuadas en el tiempo. Únicamente en granos básicos se detecta una sobreutilización debida al establecimiento del cultivo en zonas de profundidad reducida, erosionadas y pedregosas.

Los resultados obtenidos para los Ratios de Pérdida de Suelo (SLR) muestran la variabilidad existente. Destacan los altos valores obtenidos para cultivos anuales en estados tempranos (0,5), debidos principalmente al alto porcentaje de suelo descubierto. Asimismo se reafirma la función protectora de los bosques, representada en sus bajos valores de SLR a lo largo del año (0,0018-0,0041). El cálculo realizado del factor SLR permite disponer de valores concretos aplicables para la estimación de la erosión potencial en Apanás, así como para su utilización en zonas con formaciones vegetales similares, existentes en toda la región Centroamericana.

Asimismo los valores obtenidos constituyen un aporte novedoso a la gestión de la cuenca, con aplicaciones en modelización, para simular el efecto de los escenarios de usos del suelo futuros en los procesos de erosión y sedimentación, en conservación de suelos y en diseño de esquemas de Pagos por Servicios Ambientales.

**Palabras clave:** cobertura vegetal, erosión, capacidad de uso de la tierra, factor c, modelo rusle

## **EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE LA LAGUNA DE APOYO MEDIANTE TRAZADORES ISOTÓPICOS Y GEOQUÍMICOS**

Heyddy Calderón<sup>(1)</sup>, Yelba Flores Meza<sup>(1)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN) Managua, Nicaragua. [heyddy.calderon@cira-unan.edu.ni](mailto:heyddy.calderon@cira-unan.edu.ni), [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni)

### **Resumen**

El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica de la Laguna de Apoyo usando herramientas isotópicas y geoquímicas. Esta laguna es de origen cratérico de 6.6 km de diámetro y 175 m de profundidad. La cuenca es endorreica, pequeña (38 km<sup>2</sup>), con un promedio de precipitación acumulada anual de 1454 mm. Los datos limnimétricos indican una disminución del nivel de la laguna de 10 m en los últimos 30 años.

Se monitorearon parámetros fisicoquímicos y la composición isotópica (<sup>18</sup>O y D) de las aguas de la laguna, manantiales, pozos y de la precipitación durante 2006 y 2007. A pesar de la presencia de una barrera poco permeable al Oeste de la Laguna de Apoyo, los resultados hidroquímicos indican aportes desde el Noroeste y Suroeste. Sin embargo, aún no se descarta recarga local. Los datos isotópicos muestran que la evaporación es muy significativa en el balance hídrico de la laguna. Se identificó una zona de descarga de la laguna al Noreste, hacia el acuífero aguas abajo. Debido a la influencia de termalismo es necesario extender el monitoreo para definir más en detalle la zona de descarga y finalizar el balance isotópico. Esto es muy importante dado el alto contenido de sales y arsénico en la laguna y la influencia que ésta puede tener en el acuífero de Granada, ubicado aguas abajo.

**Palabras claves:** laguna cratérica, geoquímica, balance isotópico

### **Introducción**

Nicaragua posee numerosas lagunas cratéricas pero son pocos los estudios hidroquímicos e hidrogeológicos que se han realizado sobre ellas. La laguna de Apoyo está ubicada sobre la franja volcánica del Pacífico de Nicaragua, entre los volcanes Masaya y Mombacho (Figura 1).

Esta zona presenta numerosas fallas y gran actividad sísmica. Apoyo es una de las lagunas cratéricas más grandes de Nicaragua, con 6.6 km de diámetro, 175 m de profundidad y un área de 21 km<sup>2</sup>. Sin embargo, la cuenca superficial es pequeña con tan sólo 38 km<sup>2</sup> y además endorreica. Estas características contribuyen poco a la recarga superficial, la cual es predominantemente precipitación directa y esorrentía. Aunque la laguna se localiza en el extenso y productivo acuífero Las Sierras, recibe escasa contribución de agua subterránea, al presentar una barrera hidrogeológica (Krasny, 1995). Esto se debe a los depósitos de lavas en la zona suroeste que impide la entrada del flujo subterráneo que drena desde el noreste y descarga al lago de Nicaragua. Además la precipitación media anual en el área es de 1454 mm y está por debajo de la evaporación en tanque que es de 1736 mm/año. En estas condiciones el nivel medio de la laguna ha registrado un descenso de casi 10 m en un período de unos 30 años. Para el año 1982 se reportó el nivel de 78 m sobre el nivel del mar (Sussman, 1982) y en el año 2005 el nivel medio fue de 69 m. Este estudio evalúa la dinámica del flujo y la química de las aguas de este cuerpo de agua sumando información a estudios previos (Sussman, 1982; Espinoza, 1999; CIRA, 2006; Vásquez *et al.*, 2007).

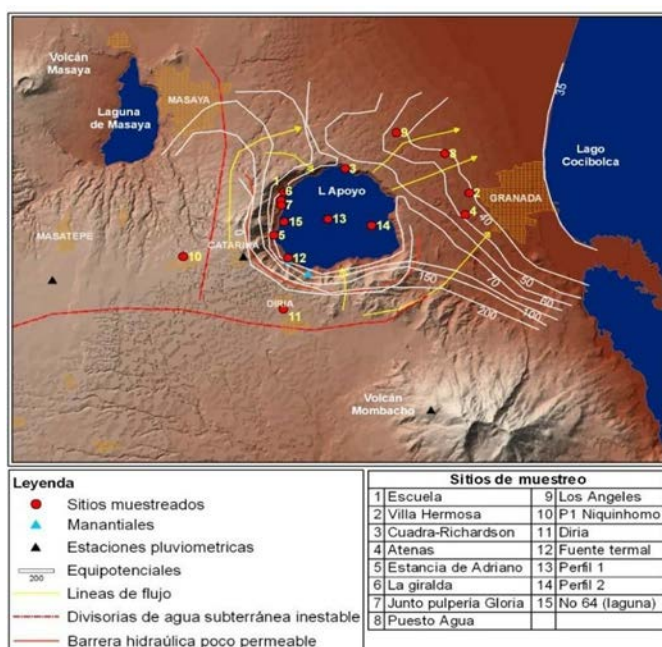


Figura 1. Dirección de flujo de agua subterránea y sitios de muestreo. Modificado de Krasny 1995.

En este estudio se presenta la relación de la hidrogeología con la geoquímica y resultados preliminares de los trazadores isotópicos (D y  $^{18}\text{O}$ ). Posteriormente se sugiere coleccionar más información para finalizar el balance isotópico de la laguna y estudiar el posible impacto de la laguna en los acuíferos localizados aguas abajo de la misma.

### Materiales y métodos

Se realizó el reconocimiento hidrológico de la zona de estudio, inventariando pozos y manantiales, midiendo niveles de agua subterránea y parámetros de campo (pH, conductividad y oxígeno disuelto) en aguas subterráneas y superficiales. Esta información fue organizada y analizada usando ArcGIS 9.2 y con ella se hizo la selección de los sitios de muestreo para análisis isotópicos, los cuales fueron realizados por espectrometría de masa en la Universidad de Waterloo, Canadá. Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN) usando el Standard Method for the Examination of Water de la American Public Health Association (APHA, 1999).

El monitoreo fisicoquímico e isotópico para evaluar cambios temporales y espaciales en la hidroquímica y composición isotópica ( $^{18}\text{O}$  y D) del agua de la laguna se basó en muestreos en época lluviosa (Sep. 2006) y en época seca (Abril 2007). Para evaluar los cambios horizontales, se coleccionaron muestras de agua en diferentes sitios de la laguna, complementado con dos perfiles verticales, para analizar cambios con la profundidad (Figura 1), tomando muestras desde la superficie hasta el fondo de la laguna (175 m). Los resultados de los análisis del agua de la laguna se correlacionaron con muestras de agua de siete pozos tanto en la posible zona de recarga, como en la de descarga. También se coleccionaron muestras de agua de dos manantiales y una fuente termal. Además, se monitoreó mensualmente, la composición isotópica de la precipitación en los alrededores de la laguna durante la época lluviosa y la seca para construir la línea de agua

meteórica local. Se colectaron muestras en tres estaciones pluviométricas cercanas a la laguna y de una estación localizada a la orilla de la misma. Las muestras para el análisis de isótopos fueron procesadas en el laboratorio de la Universidad de Waterloo.

## Resultados y Discusión

### Hidroquímica

Las aguas de la Laguna de Apoyo se clasifican como  $\text{Cl}^- \text{Na}^+$  y los valores medidos de conductividad llegan hasta  $5958 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ . Datos históricos que datan desde 1993 (CIRA, 2006), muestran que las concentraciones de los iones principales y la conductividad han aumentado en el tiempo, lo cual puede relacionarse al descenso del nivel de la laguna. Los perfiles físico-químicos no muestran estratificación en la laguna ni variaciones horizontales significativas.

Los resultados se graficaron en un diagrama de Piper (Figura 2), donde se distinguen claramente tres grupos: 1) aguas meteóricas recientes de baja conductividad ( $350\text{-}480 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y tipo  $\text{HCO}_3^- \text{Ca-Mg}$  y  $\text{HCO}_3^- \text{Ca-Na}$ ,  $\text{HCO}_3^- \text{Na-Ca}$ . Estos tipos de agua han sido identificado como de recarga o poco recorrido para el acuífero Las Sierras (Hetch, 1995). A este grupo pertenecen los pozos perforados al SO y E de la laguna, alimentados por el acuífero las Sierras (Figura 2) y pozos excavados y manantiales dentro del cráter que sugieren entrada de agua subterránea a ella. 2) aguas  $\text{Cl-Na}$  y  $\text{Cl-Na-SO}_4^{2-}$  de muy alta conductividad ( $3300 \text{ A } 6320 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Estas corresponden a la laguna y fuentes termales y 3) aguas  $\text{HCO}_3^- \text{Cl-Na}$  de alta conductividad ( $930 \text{ a } 2670 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), probablemente producto de la mezcla del acuífero regional y aguas termales profundas.

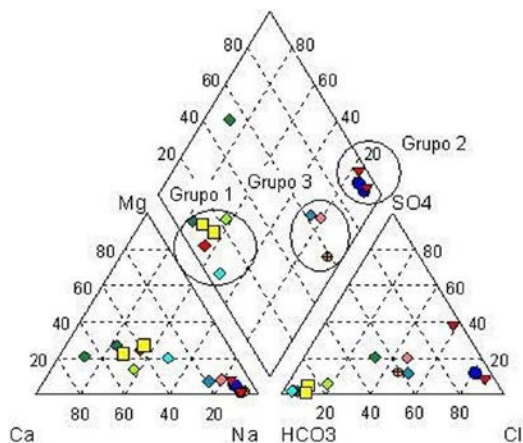


Figura 2. Resultados físico-químicos. PE: Pozos excavados; PP: pozos perforados.

### Arsénico

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas ( $4.65 \text{ a } 54.40 \mu\text{g}/\text{l}$ ) está relacionada a la presencia de fallas y termalismo en la zona. Sin embargo, la laguna podría ser una fuente de arsénico para los pozos ubicados en la zona de descarga, como en el caso del sitio Puesto de Agua (Figura 1).

### Composición isotópica

Los datos isotópicos de precipitación permitieron caracterizar la línea meteórica local de acuerdo a la ecuación  $\delta\text{D} = 7.68\delta^{18}\text{O} + 11.35$  (Figura 3). El agua de la laguna muestra valores isotópicos altamente enriquecidos que son típicos del proceso de evaporación.



Las aguas subterráneas se dividen en dos grupos, uno más empobrecido en isótopos pesados y corresponde a las aguas del grupo hidroquímico 1 (HQ1), (Figura 3). El otro grupo tiene un contenido isotópico más enriquecido que muestra el efecto del proceso de evaporación. En este último se encuentran pozos del grupo hidroquímico 3 (HQ3), (Figura 3).

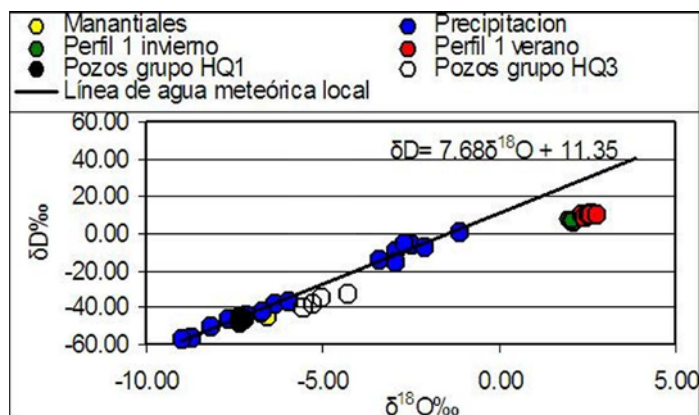


Figura 3. Resultados isotópicos de fuentes de agua en la zona de estudio.

La baja permeabilidad de las rocas en la zona Oeste de la laguna provoca el desvío del flujo regional del acuífero Las Sierras hacia el Norte y NE hacia el Lago Cocibolca. A pesar de esa barrera poco permeable, según los resultados físico-químicos, la laguna parece recibir alimentación subterránea desde el NO y SO.

La salinidad, el tipo hidroquímico y la composición isotópica de las aguas en los pozos ubicados en estas zonas de la laguna, sugieren aguas recientes de poco recorrido que coinciden con las aguas subterráneas al Oeste de la laguna.

La presencia de manantiales sugiere también la existencia de pequeños acuíferos colgados en el interior del cráter, su química y contenido isotópico coinciden con la del flujo subterráneo que aparentemente alimenta la laguna, pero no se descarta el aporte de recarga local ocurrida en el interior del cráter por precipitación.

## Conclusiones

A partir del mapeo hidrogeológico y los datos químicos e isotópicos se ha determinado una zona de descarga de la laguna en el sector NE hacia el acuífero aguas abajo cerca de Granada, la cual tendría unos 3km de ancho. En esta zona se han identificado aguas con contenido isotópico más enriquecido que el flujo regional, indicando evaporación y sugiriendo una contribución de parte de la laguna. Sin embargo aún no se ha diferenciado completamente la zona de descarga debido a la influencia del termalismo que produce aguas con una composición química similar a la que descarga de la laguna.

Para completar el balance isotópico y determinar el volumen de agua con alto contenido de sales y arsénico que entra desde la laguna al acuífero aguas abajo es necesario extender la caracterización química e isotópica en la zona de descarga.

## Literatura citada

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>th</sup> Ed. Washington.



- CIRA-UNAN. 2006. Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua-Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Informe sobre el Lago de Apoyo. Limnología, calidad de agua, hidrogeología e hidrogeoquímica. Reporte Interno, CIRA/UNAN.
- ESPINOZA M. 1999. Estudio hidrogeológico del acuífero de Granada, Nicaragua. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica.
- KRASNY J. 1995. Mapa hidrogeológico de la zona del Pacífico de Nicaragua. INETER-GTZ.
- SUSSMAN D. 1982. The geology of Apoyo caldera. Master thesis. Dartmouth College. Hanover, New Hampshire.
- VÁZQUEZ-PRADA D, ORTEGA FERNÁNDEZ J, ALONSO MARIN E, CERRATO MAIRENA D. 2007. Estudio hidrogeológico y gestión de los recursos hídricos en la cuenca de la Laguna de Apoyo, Nicaragua. AMICTLAN-Geólogos del Mundo.

## **DIAGNOSTICO AMBIENTAL CUENCA ALTA RIOS MICO Y SIQ.**

Yelba Flores Meza<sup>(1)</sup>, Heyddy Calderón<sup>(1)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni), [hcalderonp@yahoo.com](mailto:hcalderonp@yahoo.com)

### **RESUMEN**

Se presenta caracterización ambiental de las subcuencas altas del Río Siquia y Mico, como fuentes potenciales de agua para los municipios de La Libertad, Santo Domingo, San Pedro de Lóvago, Santo Tomás y Villa Sandino. Las actividades económicas de minería, ganadería, curtiembre, procesamiento de lácteos y agricultura, así como desechos sólidos y líquidos de las poblaciones han contribuido a la degradación de la calidad de agua y disminución del potencial de los recursos hídricos. La degradación de los suelos por erosión, compactación y deforestación provoca la disminución en la capacidad de infiltración de los mismos y el caudal base de los ríos. Se encontraron altas concentraciones de metales pesados en toda el área, evidencia de zonas mineralizadas. La contaminación bacteriológica está principalmente asociada a la contaminación fecal a partir de heces animales y humanas, por falta de prácticas higiénico-sanitarias y ausencia de alcantarillado sanitario. Igualmente se determinó agroquímicos en algunas zonas. Refuerzan los resultados químicos la baja presencia y densidad de los organismos bentónicos y macroinvertebrados, lo que evidencia la pobre calidad del agua. Este diagnóstico es la base científica para el plan de acción ambiental del área de estudio.

**Palabras Claves:** Diagnóstico, Causa, Gestión, Planificación, Recuperación.

### **Introducción**

El Desarrollo Municipal, debe contemplar un Plan de Acción sobre los diferentes componentes, tanto sociales como ambientales. No se puede establecer un plan de acción, con el desconocimiento de causa de las actividades que degradan los recursos naturales. El presente informe representa la caracterización ambiental de las subcuencas altas del Río Siquia y Mico, dos ríos que debido al abundante caudal, representan una de las principales fuentes potenciales de agua para consumo humano de los municipios La Libertad, Santo Domingo, San Pedro de Lóvago, Santo Tomás y Villa Sandino.

Debido a que la principal preocupación manifestada por la población y autoridades locales ha sido el efecto por la actividad minera, se ha delimitado solamente la subcuenca alta de los ríos Siquia y Mico donde esta es realizada, en el área de jurisdicción de los municipios de La Libertad, Santo Domingo, San Pedro, Santo Tomás y Villa Sandino. La extensión del área de estudio corresponde a: 1384.93 Km<sup>2</sup>, para la subcuenca del Río Mico y 1264.12 Km<sup>2</sup>, para la subcuenca del Río Siquia, para un total de 2649.05 Km<sup>2</sup>. Figura 1.

Las actividades que se desarrollan en estos municipios han provocado la disminución del potencial de los recursos hídricos, tanto en cantidad como calidad. En este trabajo se describe el entorno físico natural y la situación ambiental, basada en la información antecedente, un reconocimiento general de campo y los resultados de análisis físico-químicos, incluido cianuro (35) y bacteriológicos de agua (17), así como de agroquímicos (4) y metales (25 - As, Cr, Hg, Pb) en agua y sedimento. Figura 2.

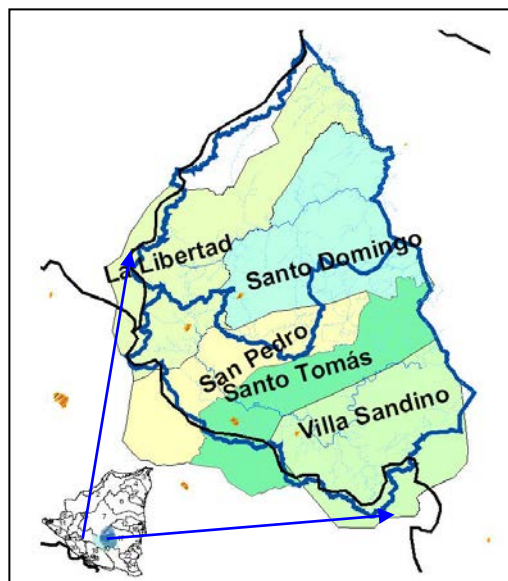


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio

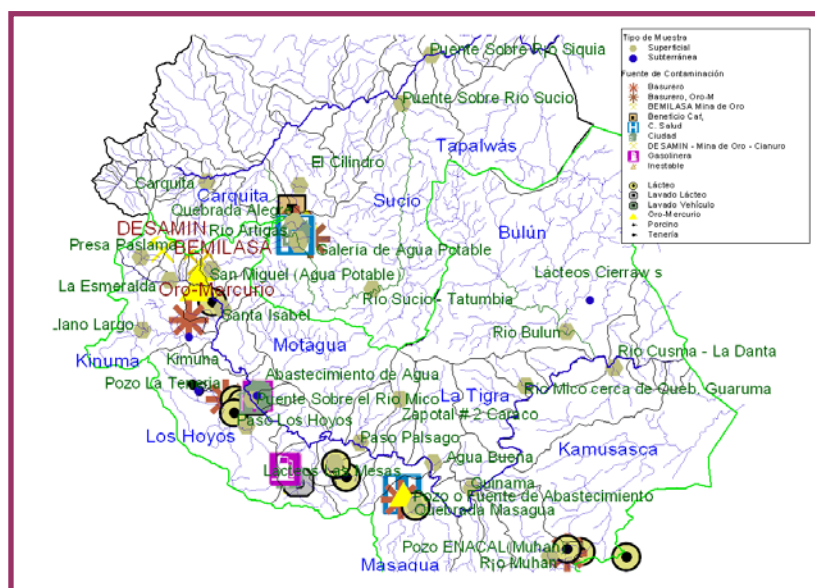


Figura Nº 2. Fuentes Puntuales de Contaminación. Sitios de Muestreo.

## Objetivo

El Objetivo Final es Establecer un Plan de Gestión Integral en la Subcuenca Alta de los Ríos Siquia y Mico, en el área de jurisdicción de los municipios de La Libertad, Santo Domingo, San Pedro de Lóvago, Santo Tomás y Villa Sandino, el que tendrá como base la información generada a través de los diferentes diagnósticos.

## **Metodología**

El trabajo se realizó en tres grandes etapas: Análisis de la Información Existente, Generación de Información Primaria y Correlación de la Información. El reconocimiento de campo se realizó para actualizar el estado y uso actual suelo, establecer los sitios de muestreo basada además en la información proporcionada por las unidades ambientales de la alcaldía. En este particular se contó con la participación de los técnicos ambientales de las alcaldías en cada uno de los procesos de investigación, fortaleciendo de esta manera las capacidades locales.

## **Situación ambiental del área de estudio**

Los parámetros climáticas de temperatura y precipitación se han mantenido en el periodo 1960-2000, con 1200-1600mm de precipitación media anual y 26°C de temperatura media, por esto no se consideran limitantes al potencial de recursos hídricos de la zona. El resultado es un caudal promedio teórico de 38.6 m<sup>3</sup>/s para el río Siquia y 41.7 m<sup>3</sup>/s para el río Mico.

El relieve plano y los suelos arcillosos, han sido los factores determinantes para considerar el suelo apto para la actividad ganadera, en un área de vocación forestal, para lo cual se ha deforestado la mayor parte del área. Tomando en cuenta que la infiltración al acuífero fracturado se da a través de áreas preferenciales específicas (fallas, fracturas, grietas), la compactación y erosión del suelo ha provocado la desaparición de algunos manantiales, con la consecuente disminución del caudal de los ríos. Los mayores tributarios del Río Mico son: Bulún – 318.73Km<sup>2</sup>, Los Hoyos – 95.65Km<sup>2</sup>, Motagua – 86.15Km<sup>2</sup> y Muhan – 80.66Km<sup>2</sup> y del Río Siquia: Sucio - 235.23 Km<sup>2</sup>, Cusuca - 223.92 Km<sup>2</sup>, Tawa – 209.80 Km<sup>2</sup> y Tapalwás – 114.91 Km<sup>2</sup>. Donde la suma total del área forestal es solamente el 4% del total, y el área de pastos alcanza casi el 95%.

Desde el punto de vista hidroquímico el agua no presenta ninguna anomalía en su contenido iónico. La concentración de OD de dos de los sitios fue menor a 5mg/l, en uno se realiza lavado de recipientes para la recolección de leche y el otro es un afluente de una procesadora de lácteos. El cianuro se detectó en concentraciones bajo las normas para agua de consumo y bajo el límite para aguas residuales del decreto 33-95.

Las actividades de contaminación puntual son principalmente la minería, procesamiento de lácteos, curtiembres y basureros, todas se ubican muy cerca del casco urbano en las márgenes de los ríos.

Los municipios de Santo Domingo y La Libertad representan la cabecera de estos ríos, aquí se genera una serie de contaminantes metálicos producto de las labores mineras. Se determinaron las concentraciones de Pb y Hg más altas de la zona. Las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales superaron las normas de agua de consumo humano de CAPRE, OMS y Canadienses en los sitios Río Artigas (Cr) La Estrella (Pb, Hg), Kinuma (As) y Puertas de París (Cr). La presencia de metales en todas las muestras analizadas indica zonas altamente mineralizadas. De acuerdo a los resultados de metales pesados se observa una tendencia a la adsorción por sólidos y materia orgánica en los sedimentos de los ríos. Figura 3.

La pobre calidad microbiológica de los ríos se deba a la contaminación fecal a partir de heces animales y humanas, producto de la inadecuada ubicación de letrinas, prácticas de fecalismo al aire libre y descarga de aguas residuales domésticas. Según las normas CAPRE, EPA y OMS, las aguas no son aptas para consumo humano, ni riego.

Se detectó malatión en Carquita en La Libertad, su presencia sugiere una reciente aplicación. Concentraciones detectables de etil paratión se reportaron en Sto. Domingo y La Libertad. La presencia de organismos bentónicos en sedimentos en estos ríos es baja, al igual que su densidad poblacional. Sin embargo, esta aumenta a medida que hay mayor aporte de agua, o sea aguas abajo del río Mico. Esto se atribuye a diferentes causas, como falta de sustrato, arrastre por las lluvias y las actividades antropogénicas, que causan acumulación de plomo en sedimento. Dominaron los géneros del Phylum Artrophoda y Annelida, con especies tolerantes de Candona y Limnodrilus.

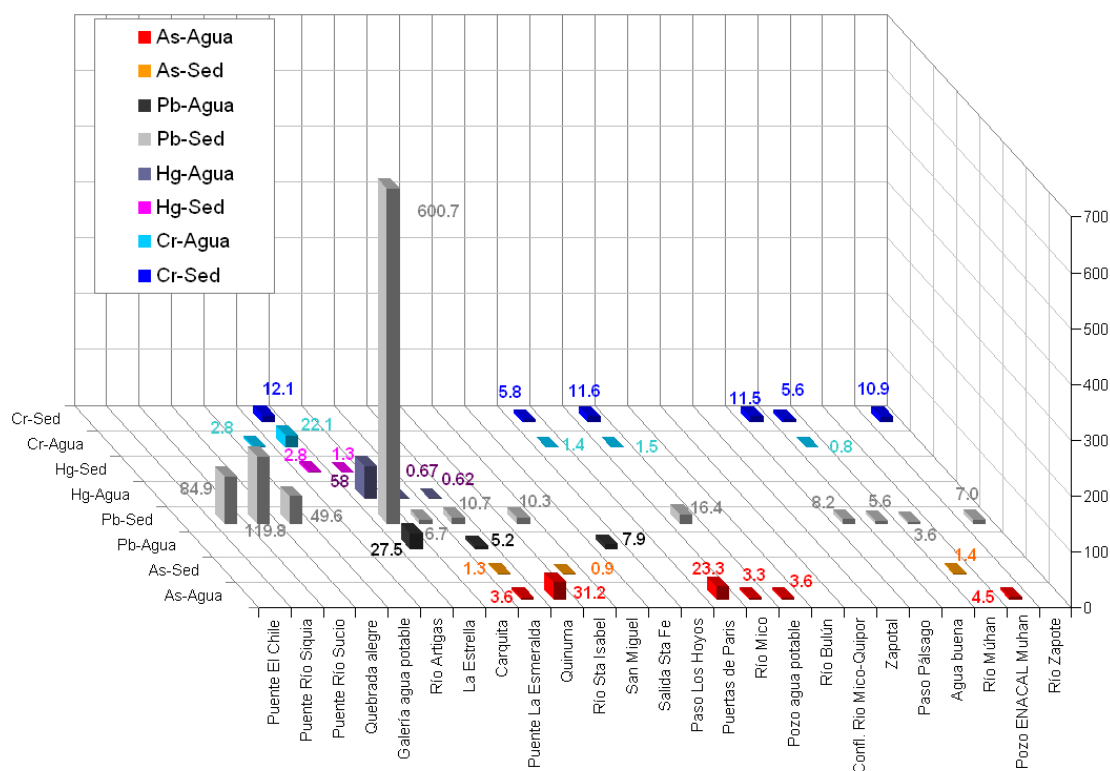


Figura 3. Concentración de Metales Pesados. Ríos Siquia y Mico

Los sitios en el Río Mico tienen una moderada a buena diversidad y

abundancia de macroinvertebrados, aguas abajo de todas las actividades, lo que indica que la clasificación del agua es de moderada a buena calidad.

Los análisis demuestran contaminación de diversa índole a lo largo de toda la cuenca. Dados los resultados de los análisis biológicos se recomienda densificarse la red de muestreo. En general es posible la recuperación del recurso, con la adecuada gestión del mismo.

Cuadro Nº 1. Presencia de Bacterias en Río Siquia y Mico

Municipios	Sitio	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	E coli (NMP/100 ml)	Estreptococos Fecales (NMP/100 ml)
Santo Dgo	Pte Río Sucio	5000	800	800	2300
	Quebrada alegre	30000	3000	3000	1400
	Galería agua potable	300	27	27	300
La Libertad	Carquita	17000	3000	3000	33

	Kinuma	<2	<2	<2	<2
	Río Santa Isabel	3000	2300	1300	900
	San Miguel	3000	1100	1100	140
<b>San Pedro</b>	Paso Los Hoyos	8000	1300	1300	7000
	Puertas de París	90	50	50	8
	Pozo agua potable	2	2	2	2
<b>Sto Tomás</b>	Confluencia	8000	800	800	1700
	Río Mico-Quipor				
	Paso Pálsago	8000	800	800	1300
<b>Villa Sandino</b>	Agua buena	13000	2700	2200	1100
	Río Múhan	1700	170	130	700
	Pozo ENACAL	<2	<2	<2	<2
	PozoENACAL Múhan	8	2	2	200

### Agradecimientos

Un profundo agradecimiento por el apoyo financiero, logístico y humano al Ing. Roberto Araquistán Coordinador Técnico del Segundo Proyecto de Desarrollo Rural de MARENA, Proyecto FOMEVIDA de INIFOM, a Don Salvador Montenegro y Katherine Vammen del CIRA/UNAN, y los Alcaldes de La Libertad, Santo Domingo, San Pedro, Santo Tomás y Villa Sandino. Especial mención merece Jaime Espinales Asesor del Segundo Proyecto de Desarrollo Rural del MARENA, quien trabajó incansablemente en la gestión del trabajo, los técnicos de la Delegación de MARENA-Chontales: Mario Zeas, Erick y Bayron, por la ayuda en el campo, la Alcaldesa de La Libertad. Lic. Marina Lorío, siempre dispuesta a cooperar, técnicos de las UAM en La Libertad – Lorna Bayres y Leonel Moreno, Santo Domingo – Aldo Centeno, San Pedro – Carlos Orozco, Santo Tomás – Joel Bravo y Villa Sandino - Lidia Salinas, por toda la información brindada, a Marcos Montoya del SINIA-MARENA en la Delegación de Chontales, por brindarnos la mayor parte de la Información Automatizada y a la Asociación Chontaleña de Municipios, por el apoyo logístico en los talleres realizados.

### Literatura citada

- INETER-COSUDE. 2004. Estudio de Mapificación Hidrogeológico e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua.
- SILVA, G. 1994. Diagnóstico da contaminação ambiental gerada pela atividade minerária sobre os rios Súcio, Mico e Sinecapa, Nicaragua. Tesis de Maestría. Universidad Federal do Pará.

## **EVALUACIÓN DE LA TENDENCIA EN VOLUMEN Y CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN SAN JUAN DEL SUR, RIVAS.**

Heyddy Calderón<sup>(1)</sup>, Yelba Flores Meza<sup>(1)</sup>, Valeria Delgado<sup>(1)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [heyddy.calderon@cira-unan.edu.ni](mailto:heyddy.calderon@cira-unan.edu.ni), [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni), [valeria.delgado@cira-unan.edu.ni](mailto:valeria.delgado@cira-unan.edu.ni)

### **Resumen**

La evaluación de la disponibilidad y calidad de las aguas en el municipio de San Juan del Sur fue un proyecto ejecutado por CIRA/UNAN en conjunto con la Alcaldía Municipal, MASRENACE GTZ y DED. Este fue iniciado en Mayo del 2007 y finalizado en Agosto del 2008, con una presentación pública de los principales resultados. La información existente fue recopilada, sistematizada y analizada junto con los nuevos datos generados a lo largo de un año (2007-2008) a través de levantamientos geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos y geofísicos. Además se realizó la evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Se encontró que la recarga potencial para el municipio es de 95MMC, esta ocurre principalmente en La Flor y El Ostional a la altura de 150m.s.n.m. Químicamente las aguas pueden considerarse aptas para consumo humano, aunque algunos parámetros como las especies nitrogenadas mostraron indicios de contaminación que puede provenir de residuos animales, humanos o el uso de fertilizantes. Los escenarios evaluados reflejan suficiente disponibilidad de agua para las necesidades futuras del municipio hasta el año 2025, si se toman las medidas necesarias de conservación y preservación del recurso.

**Palabras claves:** acuíferos costeros, hidrogeología, disponibilidad de agua

### **Introducción**

San Juan del Sur, con una extensión aproximada de 411 km<sup>2</sup>, contiene el centro poblado de mayor importancia del departamento, después del municipio de Rivas. La población se estima en 18000 habitantes (Alcaldía de San Juan del Sur, 2006a); 45% de ellos habitan en el área urbana y 55% en el área rural. Las abundantes riquezas naturales del municipio potencian su desarrollo turístico y económico, sin embargo existen situaciones tanto naturales como antropogénicas que representan obstáculos actuales o potenciales para ese desarrollo. Entre estas situaciones se ha identificado problemas ambientales en cuanto a recursos hídricos, flora, fauna y vacíos en el marco legal (Alcaldía de San Juan del Sur, 2007).

El objetivo principal de este trabajo fue determinar la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos en tres subcuencas (El Bastón, La Flor y Ostional) del municipio de San Juan del Sur.

### **Metodología**

El trabajo incluyó una recopilación y análisis de información previa, la cual fue corroborada y actualizada en campo por el equipo técnico. Además se realizaron 16 giras de campo donde se recopiló nueva información y datos en cuanto a geología, hidrogeología, hidrología, geofísica y calidad de agua. El trabajo abarcó todo el municipio, pero con especial énfasis en tres subcuencas costeras seleccionadas por la Alcaldía debido a la severidad de sus problemas de abastecimiento de agua. Estas fueron: El Bastón, que abarca la comunidad El Bastón; La Flor, que abarca las comunidades de Tortuga y parte de San Jerónimo; y la subcuenca Ostional, que abarca la comunidad del mismo nombre. La participación comunitaria jugó un papel primordial en la



ejecución del proyecto. Se incluyó de forma activa a los líderes de las comunidades involucradas, quienes proporcionaron valiosísima información práctica y participaron en la identificación de los sitios claves para recopilación de datos. Además fueron adiestrados en técnicas de campo y asumieron la ejecución de la red de monitoreo de niveles de agua subterránea.

## Resultados y discusión

El régimen de escurrimiento de los ríos es intermitente, los mayores caudales ocurren durante el pico de la época lluviosa entre Octubre y Noviembre debido al aporte de escorrentía directa. Entre Enero y Junio la alimentación se da por aporte de agua subterránea a través de flujo base. El estimado de escorrentía superficial para la subcuenca Ostional es de aproximadamente 9.8 MMC/año, para subcuenca La Flor alrededor de 8.4 MMC/año. En la subcuenca el Bastón el valor estimado es de 4.7 MMC/año.

La recarga potencial por balance hídrico refleja un volumen de 95MMC para todo el municipio. Para las tres subcuencas son: El Bastón: 2.03, El Ostional 11.83, La Flor 10.07MMC. Esto es la recarga máxima que puede llegar al acuífero en las condiciones de precipitación del año 2007 (1400mm). Las zonas de mayor recarga se localizan en La Flor y El Ostional a la altura de 150m.s.n.m. En El Bastón la recarga está más distribuida en toda la cuenca, hasta la altura del poblado del mismo nombre. (Figura 1).

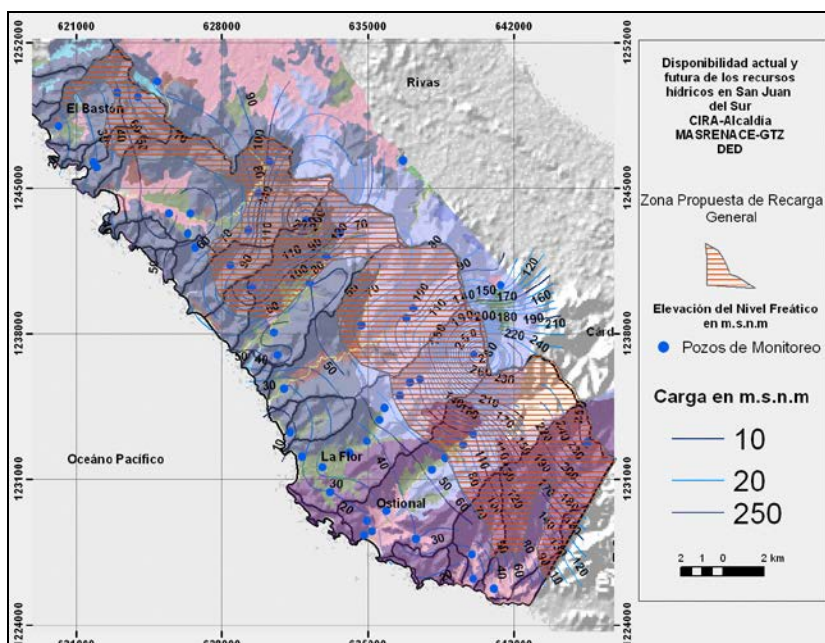


Figura 1. Zonas de recarga.

El uso y conservación del suelo son factores muy importantes para el proceso de infiltración y por tanto la recarga de los acuíferos. Las zonas altas con pendientes de hasta 30° y cubiertas de bosques son más favorables para el proceso de recarga de los acuíferos. Esto se debe a que los suelos están mejor conservados que en las zonas bajas, las que son usadas para pastos.

Los estudios geofísicos en El Bastón revelan que la zona central del área, que cubre un ancho aproximado de 1Km desde el Papayal hasta el Plantel, podría estar asociada a la presencia de fallas



o fracturas y probablemente se extiende más allá de la zona de estudio (Figura 2). Esta área se considera de mayor perspectiva para acumulación de agua subterránea.

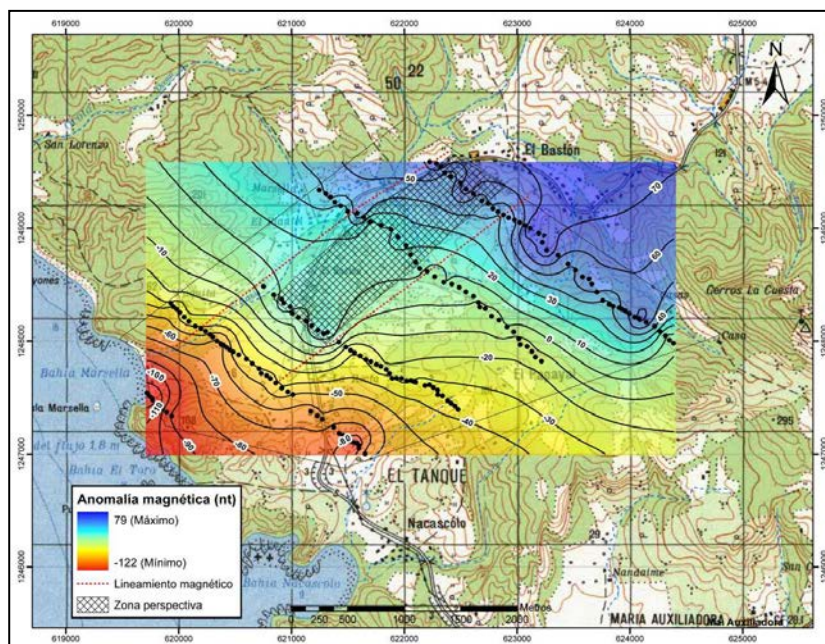


Figura 2. Zonas de perspectiva de perforación

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas fue evaluada por medio de un muestreo en época lluviosa (Octubre 2007) y uno en época seca (Abril 2007). Se realizaron análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Químicamente las aguas pueden considerarse aptas para consumo humano, aunque algunos parámetros como las especies nitrogenadas mostraron indicios de contaminación que puede provenir de residuos animales, humanos o el uso de fertilizantes. Desde el punto de vista bacteriológico, las aguas superficiales y subterráneas de las microcuencas monitoreadas presentan un alto grado de contaminación de origen fecal, especialmente en la subcuenca El Bastón.

Se evaluó la recarga de agua subterránea para tres escenarios de precipitación con los resultados para un descenso en precipitación del 25% como escenario pesimista: El Bastón 0.28, El Ostional 0.09 y La Flor 0.082MMC, reduciéndose drásticamente la disponibilidad, provocado por la pérdida de suelo y deforestación. Para el escenario optimista de 25% más de precipitación sobre la norma histórica fueron: 6.64, 31.4 y 29.8MMC para El Bastón, El Ostional y La Flor respectivamente. Los volúmenes presentados reflejan una disponibilidad de agua acorde con las necesidades actuales y las necesidades futuras hasta el año 2025, si se toman las medidas necesarias de conservación y preservación del recurso.

#### 4. Conclusiones

La subcuenca El Bastón presenta rocas más compactas, menor fracturamiento y presencia de fallas. Por esta razón la disponibilidad de agua es menor comparada con La Flor y El Ostional. Estas subcuencas se localizan en un área donde se presentan estructuras de fracturamiento y

fallamiento en dirección N-S, en una distribución paralela al eje del anticlinal de Rivas, en dirección E-O en menor grado por las características de las lutitas principalmente

Las zonas de mayor recarga se localizan en La Flor y El Ostional a la altura de 150m.s.n.m, en El Bastón la recarga es más localizada en toda la cuenca, hasta la altura del Poblado de El Mismo Nombre.

Los estudios geofísicos en El Bastón revelan que la Zona Central del Area, que cubre un ancho aproximado de 1Km desde el Papayal hasta el Plantel, podría estar asociada a la presencia de fallas o fracturas y probablemente se extiende más allá de la zona de estudio. Se considera de mayor perspectiva para acumulación de agua subterránea.

Químicamente las aguas superficiales y subterráneas pueden considerarse aptas para consumo humano; no obstante ciertos parámetros como la conductividad eléctrica, turbidez, color, calcio y hierro total están por arriba de los valores recomendados por las normas en algunos sitios monitoreados. Bacteriológicamente las aguas no se consideran aptas para consumo humano.

Los escenarios de recarga optimista y pesimista evaluados reflejan una disponibilidad de agua acorde con las necesidades actuales y las necesidades futuras hasta el año 2025. Esto es si se toman las medidas necesarias de conservación y preservación del recurso. Las zonas de mayor potencial hídrico lo representan las subcuencas La Flor y El Ostional, sin embargo la subcuenca El Bastón puede satisfacer su demanda con la construcción de un pozo perforado profundo de uso comunal, dentro del área señalada con mayor potencial por el estudio geofísico.

#### **Literatura citada**

- ALCALDÍA DE SAN JUAN DEL SUR, 2006a. Plan maestro de desarrollo urbano de San Juan del Sur.  
ALCALDÍA DE SAN JUAN DEL SUR Y GRUPO CJA. 2006. Diagnóstico ambiental municipal.  
ALCALDÍA DE SAN JUAN DEL SUR. 2007. Plan ambiental municipal.  
INETER. 2004. Delimitación comarcal del municipio de San Juan del Sur.  
KRASNY J. 1995. Hidrogeología de la zona del Pacífico de Nicaragua. INETER-GTZ.

## **CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y EVALUACIÓN CALIDAD DE AGUA PARA EL ARCHIPIÉLAGO DE SOLENTINAME.**

Valeria Delgado<sup>(1)</sup>, Yelba Flores<sup>(1)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [valeria.delgado@cira-unan.edu.ni](mailto:valeria.delgado@cira-unan.edu.ni), [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni)

### **Resumen**

El Archipiélago de Solentiname, con una superficie total de 40.2km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en el sureste del Lago Cocibolca, con una elevación entre los 30 y 250 msnm. Se encuentra compuesto de 36 islas e islotes de diferentes tamaños, dentro de las cuales destacan cuatro por su tamaño y mayor concentración de la población. Las principales actividades económicas son la agricultura, pesca artesanal, pintura primitivista y artesanía; lo que ha atraído a la industria del turismo. La principal fuente de agua para la población del Archipiélago proviene del Lago Cocibolca; seguida por el agua subterránea suministrada a través de puestos de agua o de algunos pozos excavados particulares. Existen manantiales, los cuales con un adecuado manejo y protección podrían suministrar de agua a la población. Son las características del agua para sus diversos usos, las que más preocupan a la población en general; siendo el más importante de estos su utilización para consumo humano; seguido por la irrigación. En la evaluación de estas características, radica el conocimiento del uso de este patrimonio hídrico en diversas actividades; por lo que el conocer cualitativa y cuantitativamente algunos aspectos del origen y de las fuentes de abastecimiento de agua (superficial y subterránea), así como de su calidad, es primordial para los pobladores de Solentiname.

**Palabras Clave:** Cocibolca, Solentiname, contaminación, calidad del agua, Hidrogeología.

### **Introducción**

El archipiélago de **Solentiname** es un grupo de 36 islas e islotes de diverso tamaño, con una superficie de 40.2 km<sup>2</sup>; situado en el extremo sureste del Lago Cocibolca. Las principales islas debido a su tamaño y número de pobladores son la isla Mancarroncito, Mancarrón, la Elvis Chavarría (Fernando) y la isla Donald Guevara (conocida localmente como La Venada) y la Venadita. Las principales actividades económicas son la agricultura, pesca artesanal, pintura primitivista y artesanía; lo que ha atraído a la industria del turismo.

Reconociendo la importancia del recurso agua como elemento básico para el desarrollo humano, el Programa de Voluntariado de la Diputación de la Provincia de Huelva (España) en conjunto con la Asociación para el Desarrollo de Solentiname (APDS), han establecido vínculos estratégicos con el CIRA/UNAN con el fin de conocer cualitativa y cuantitativamente algunos aspectos del origen y de las fuentes de abastecimiento de agua (superficial y subterránea), así como de su calidad para abastecimiento de los pobladores de Solentiname.

### **Materiales y métodos**

Este estudio representa todo el procesamiento y análisis de información primaria, que junto a los resultados de los reconocimientos geológicos e hidrogeológicos; colecta de muestras de agua superficial (Lago Cocibolca) y subterránea (pozos y manantiales) en las principales islas, para

análisis físico-químico, microbiológico y de plaguicidas; generarán la información básica para la formulación de planes para el abastecimiento seguro de la población en Solentiname.

## Resultados y Discusión

El material volcánico tiene influencia en la química del agua, las rocas volcánicas básicas e intermedias se caracterizan por presentar minerales de la serie isomorfa de K-Na-Ca; esto se refleja en el tipo químico (Figura 1) de las aguas y en la variación de los contenidos de iones de Ca, Na, K, Mg, en cada una de las muestras recolectadas. En cuanto a la calidad química natural del agua (tanto superficial como subterránea), se considera potable. Se consideran aguas de buena calidad (en cuanto a su contenido de dureza) los sitios M1 a M6 y PE-Fernando; y de calidad media PE-FDR, PP-ACRA y manantial La Bolsa. Para su uso en agricultura, las aguas superficiales se catalogan como C1-S1, apta para el riego en todos los casos. Mientras que las aguas subterráneas son aguas del tipo C2-S1, aptas para el riego.

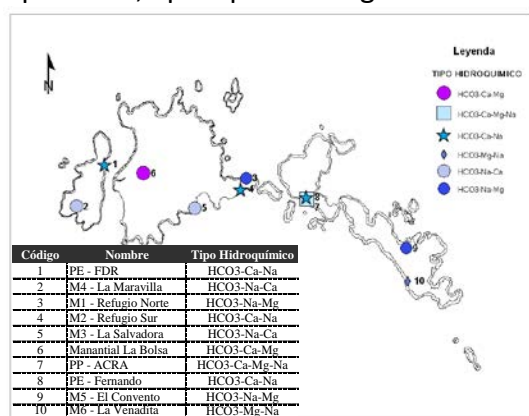


Figura 1. Tipo hidroquímico.

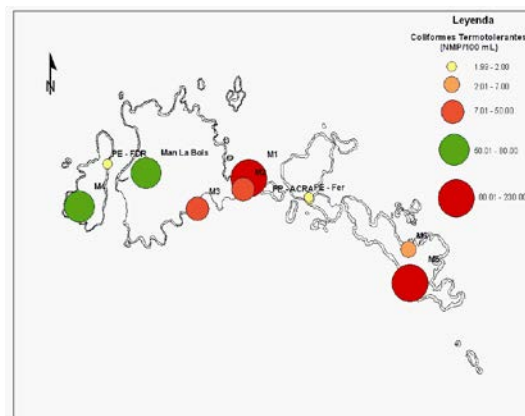


Figura 2. Coliformes termotolerantes.

Desde el punto de vista sanitario-bacteriológico, el agua del Lago Cocibolca no es apta para consumo humano, debido a la presencia de coliformes termotolerantes (Figura 2) y *Escherichia coli*. El Manantial La Bolsa, tampoco es apto para consumo humano, por la presencia de los indicadores antes mencionados. En cuanto a las aguas subterráneas de los pozos PE-FDR, PP-ACRA, y PE-Fernando presentaron concentraciones de coliformes totales, por lo que no se consideran aptos para consumo humano.

El arsénico encontrado en el manantial La Bolsa, PE-Fernando y PP-ACRA no superan los valores permitidos por la norma para consumo humano ( $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , CAPRE, 1994; Figura 3).

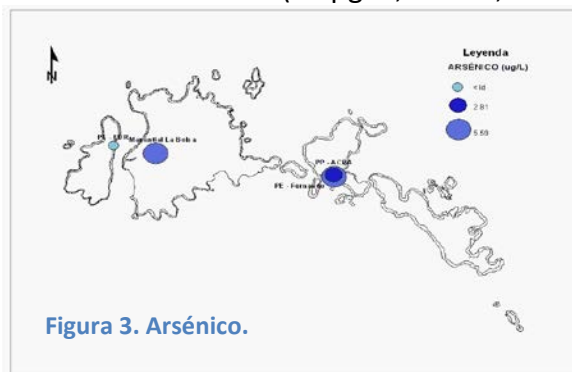


Figura 3. Arsénico.

En cuanto a los plaguicidas organoclorados analizados, el Endosulfan fue el único detectado (en M2). Las concentraciones de los carbamatos (Figura 4): aldicarb (M1, M2 y M3), carbofurán (M2, M5 y M6) y carbaryl (M2 y M5), sobrepasan los niveles sugeridos por las normas para agua potable (Tabla 1). La presencia de estos plaguicidas arriba de las normas, indica que las aguas alrededor del archipiélago de Solentiname, en el norte (M1) y al sur (M2 y M3) no son aptas para consumo humano (Tabla 1).

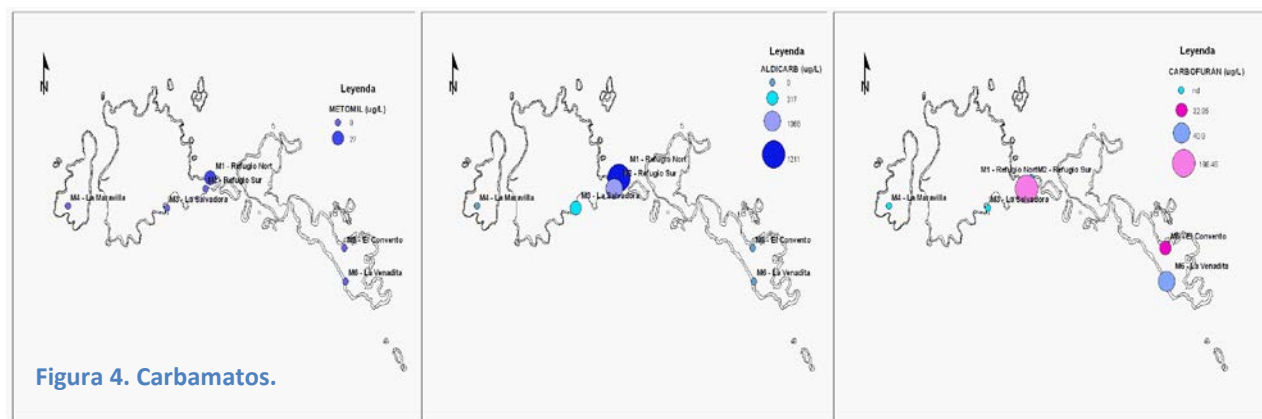


Tabla 1. Sitios que superan los valores establecidos por las normas para carbamatos.

Carbamato		Aldicarb		Carbofurán		Carbaryl	
		CAPRE	CEQG	CAPRE	CEQG	CAPRE	CEQG
<b>CAPRE<sup>(1)</sup></b>		10.00	M1, M2, M3	5.00	M2	nr	
<b>CEQG<sup>(2)</sup></b>	<b>Agua potable</b>	9.00	M1, M2, M3	90.00	M2	90.00	
	<b>Vida acuática</b>	1.00	M1, M2, M3	1.80	M2, M5, M6	0.20	M2, M5
	<b>Irrigación</b>	54.90	M1, M2, M3	nr		nr	
	<b>Ganado</b>	11.00	M1, M2, M3	45.00	M2	1100.00	

(1) Norma Regional; (2) Canadian Environmental Quality Guidelines

## Conclusiones

El material volcánico tiene influencia en la química del agua; esto se refleja en el tipo químico de las aguas y en la variación de los contenidos de iones de Ca, Na, K, Mg, en cada una de las muestras recolectadas.

En cuanto a la calidad química natural del agua (tanto superficial como subterránea), se considera potable. En las aguas superficiales, la turbidez y el hierro, afectan un poco su calidad. El contenido de material fecal, hace que tanto las aguas superficiales como subterráneas no sean aptas para

consumo humano. El arsénico encontrado en el manantial La Bolsa, PE-Fernando y PP-ACRA no supera los valores permitidos por la norma para consumo humano. Se detectó Endosulfan. Las aguas del lago en los sitios M1, M2 y M3 no se consideran aptas para consumo humano por las concentraciones de aldicarb y carbofurán reportadas.

Las aguas superficiales se catalogan como C1-S1 (apta para el riego en todos los casos); mientras que las aguas subterráneas son del tipo C2-S1 (apta para el riego).

### **Literatura citada**

CAPRE. 1994. Normas Regionales para Centroamérica, Panamá y República Dominicana. Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano. 1ª Edición.

CEQG. 2003. Canadian Environmental Quality Guidelines. Summary Table.

## **EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL (CALIDAD Y CANTIDAD) Y ESTIMACIÓN DE LA DINÁMICA DE RECARGA DE LOS MANTOS FREÁTICOS EN LA FRANJA COSTERA DEL MUNICIPIO DE TOLA.**

Valeria Delgado <sup>(1)</sup>, Yelba Flores <sup>(1)</sup>, Thelma Salvatierra <sup>(1)</sup>

(1) Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN). Managua, Nicaragua. [valeria.delgado@cira-unan.edu.ni](mailto:valeria.delgado@cira-unan.edu.ni), [heyddy.calderón@cira-unan.edu.ni](mailto:heyddy.calderón@cira-unan.edu.ni), [yelba.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:yelba.flores@cira-unan.edu.ni), [thelma.salvatierra@cira-unan.edu.ni](mailto:thelma.salvatierra@cira-unan.edu.ni)

### **Resumen**

Las actividades económicas, el crecimiento de la población (tanto de los pobladores actuales como la migración nacional y extranjera); así como los cambios climáticos globales, han aumentado la presión sobre los recursos hídricos en el país; en cuanto a la oferta de agua para consumo y otros usos, acrecentado de esta manera el potencial de contaminación sobre éstos. En consecuencia, los gobiernos municipales han formado alianzas estratégicas con organismos internacionales e instituciones académicas como recurso para producir la información base necesaria para sus planes de ordenamiento territorial, a fin de planificar futuras demandas de la población y de los inversionistas. El desarrollo turístico en la franja costera del Municipio de Tola ha conllevado al cambio de uso de suelo, desprotección de las zonas de recarga de los acuíferos, posible riesgo de intrusión marina por bombeo excesivo en la zona costera, problemas con la disposición de residuos sólidos. Es por eso, que siendo el agua el recurso de vital importancia en las actividades humanas, es necesario conocer la cantidad y la calidad del agua superficial y subterránea para uso de la población, capacitar a las comunidades y dar recomendaciones para su protección.

**Palabras Clave:** Disponibilidad recursos hídricos superficiales y subterráneos, calidad del agua.

### **Introducción**

El Municipio de Tola se encuentra en el Departamento de Rivas, y es el mayor de los 10 municipios del Departamento. Está localizado entre las coordenadas 11°26' latitud Norte y 85°56' longitud oeste. El territorio tiene una extensión de 474 km<sup>2</sup> y una población de 23161 habitantes. Se han definido las potencialidades turísticas para el desarrollo económico de la zona, las cuales se han incrementado en los últimos años, a través de la construcción de numerosos "resorts" turísticos (balnearios y surfing) en la zona costera del municipio. De ahí que una de las principales inquietudes es el potencial de recursos hídricos. Para satisfacer las necesidades de abastecimiento potable de esta industria, se han perforado numerosos pozos, la mayoría localizados en la zona costera. Esta tendencia puede suponer una sobreexplotación que induciría inversión de gradiente provocando intrusión salina.

La Alcaldía de Tola en coordinación con la GTZ y el Servicio Alemán de Cooperación Técnica y Social (DED) ha establecido un convenio con el CIRA/UNAN para producir la información base necesaria sobre la evaluación de la capacidad de carga de los mantos freáticos de la franja costera del municipio de Tola. En el municipio se han identificado tres microcuencas, que por su extensión representan una elevada importancia para la cuantificación de la disponibilidad de los recursos hídricos: Brito, Nagualapa y Escalante.

### **Materiales y métodos**



Este estudio representa todo el procesamiento y análisis de la información primaria y secundaria. En 5 giras de campo, se realizaron:

1. *Caracterización Hidrogeológica*: reconocimientos geológico e hidrogeológico, medición de niveles de agua, pruebas de infiltración.
2. *Caracterización Hidrológica*: reconocimiento hidrológico, medición de caudales, datos climáticos, características de suelo (tipo y uso).
3. *Evaluación de la Calidad de los recursos hídricos superficial y subterráneo*: reconocimientos hidrogeológico, hidrológico y de fuentes de contaminación, colecta de muestras de agua para análisis físico-químicos, bacteriológicos y de plaguicidas, toma de muestras de sedimento para la cuantificación de los organismos bentónicos.

Los resultados fueron presentados al personal de la Alcaldía, líderes comunitarios y población del Municipio.

### Resultados y discusión

Se distinguen cuatro acuíferos de importancia en la zona de estudio (Figura 1); todos ellos tienen descarga directa al Océano Pacífico. Los límites de los acuíferos están entre la Formación Brito y los aluviales del cuaternario, desarrollándose en las planicies aluviales de la parte baja de los ríos del mismo nombre. El basamento impermeable lo representa la Formación Brito. Localmente, abastecen a la población asentada en ellos a través de pozos excavados. Únicamente la ciudad de Tola, los poblados de La Virgen Morena, Las Salinas de Nagualapa, Nancimí y los “resorts” turísticos (con fines privados) explotan el acuífero a través de pozos perforados. La dirección preferencial de flujo es NE-SO, con descarga regional hacia el mar.

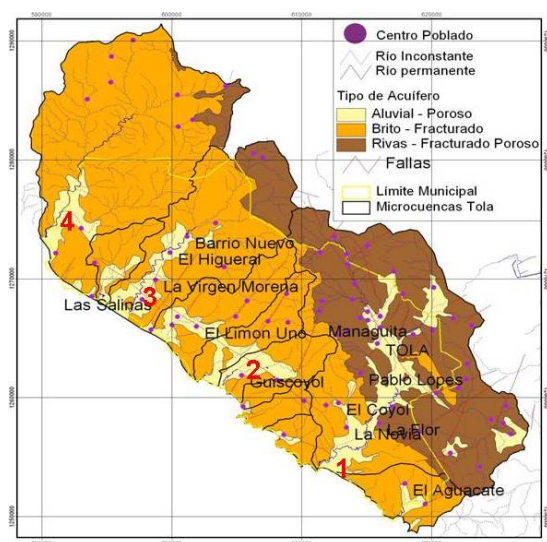


Figura 1. Acuíferos en Municipio Tola.

Localmente se observa descarga hacia los principales ríos del área. Se observa una divisoria subterránea (A-A'; Figura 2) en el Cerro Escoba y La Mohosa, donde el flujo se divide hacia el río Brito y los acuíferos de menor extensión localizados entre Murciélagos y Limón, indicando este accidente geográfico como una zona importante para la recarga regional del acuífero. El acuífero



más productivo es el localizado entre Río Murciélago y Limón, debido a que presenta mayor extensión y una zona de recarga más amplia. El total de descarga es un poco mayor que los 50,000 m<sup>3</sup>/día, tomando como base 20,000 habitantes en el municipio, con el caudal subterráneo saliente, las reservas de agua subterránea son suficientes para el abastecimiento de agua de consumo humano; sin embargo las limitantes son la localización de los pozos, la profundidad de estos y el uso del suelo en la región.

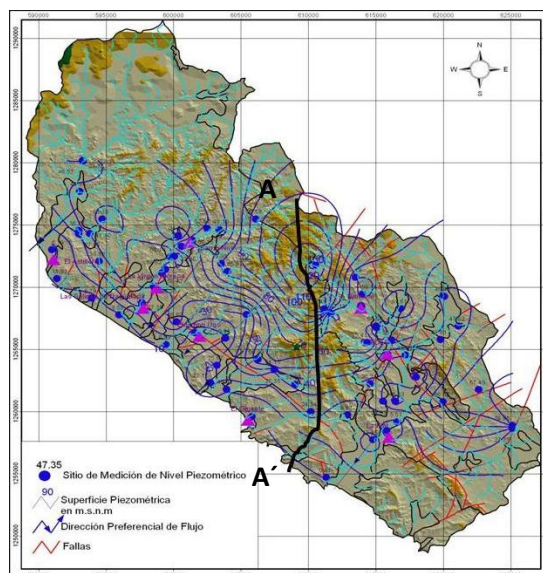


Figura 2. Piezometría.

En la Tabla 1 se presentan los resultados del balance hídrico superficial para las 3 microcuencas de estudio. Para la utilización sostenible de estos recursos es recomendable un máximo de utilización del 50%, de manera que su aprovechamiento no vaya en detrimento de la disponibilidad. Los caudales estimados a partir de las mediciones de campo indican aporte de agua subterránea hacia los ríos durante la época de estiaje.

	Brito	Nagualapa	Escalante
Área (km <sup>2</sup> )	273	116	210
Exceso (mm/año)	854	920	915
Déficit (mm/año)	302	302	302
Qsup (mm/año)	552	619	613
Qsup (MMC/año)	151	72	129

Tabla 1. Balance Hídrico Superficial

En general, la calidad química natural de las aguas del municipio es buena. El tipo hidroquímico se reporta en la Figura 4.

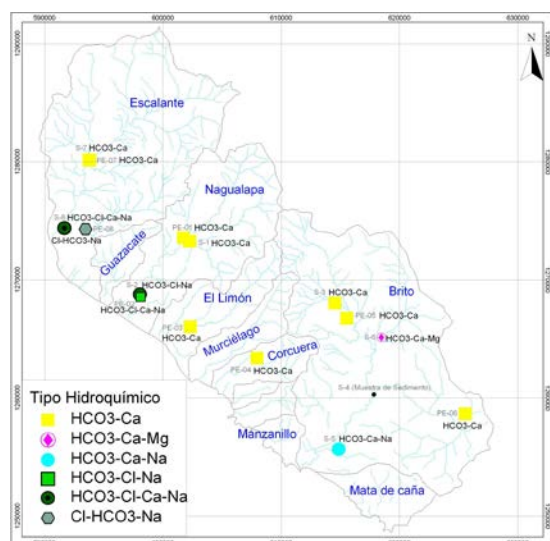


Figura 4. Tipo Hidroquímico.

Las aguas superficiales y subterráneas se clasifican como muy duras (de mediana calidad); y suaves en parte alta de Escalante (de buena calidad). Las aguas superficiales y subterráneas son de excelente calidad para riego (C2-S1); con excepción de la parte baja de Nagualapa que es de calidad admisible (C3-S1). Microbiológicamente no son aptas, debido a las elevadas concentraciones de coliformes. Uso de carbamatos en las 3 microcuencas, detectado en concentraciones no aptas para la vida acuática (Figura 5).

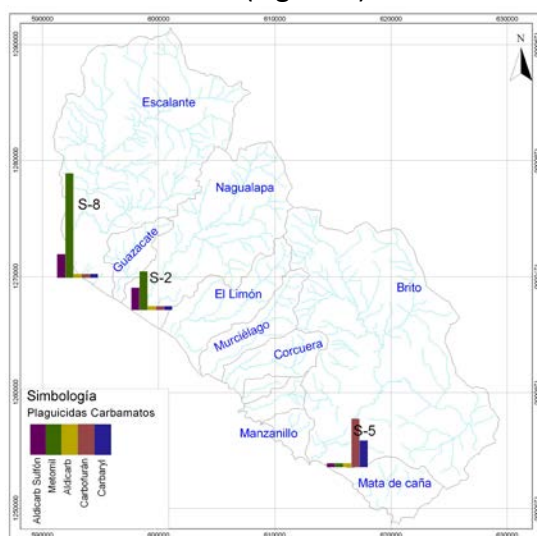


Figura 5. Carbamatos

En cuanto a los organismos zoobénticos, se encontró dominancia de la Clase Insecta. Es probable que la baja densidad y abundancia numérica esté relacionado con la presencia de carbamatos en el agua. Se encontró que el agua es relativamente mala en la parte alta y media de las 3

microcuencas; en la parte media y baja de Nagualapa y Brito varía de Mala, Regular y Buena calidad en relación al índice biótico de familias propuesto por Hilsenhoff en el año 1987. Fueron identificadas dos especies nuevas para Nicaragua (Figura 6); aún hay que confirmar estos hallazgos científicos realizados por el CIRA/UNAN.



Figura 6. *Theodoxus* sp. y *Trinectes fonsecensis* (lenguado



### **3. CAB 2012: EXPERIENCIAS EN HONDURAS**



## TECNOLOGÍAS GEOMÁTICAS PARA LA INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL Y NATURAL EN CENTROAMÉRICA

Juan Gregorio Rejas <sup>(1)</sup> y Aitor Bastarrica <sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid, España. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Madrid, España. [juangregorio.rejas@upm.es](mailto:juangregorio.rejas@upm.es)

(2) Universidad del País Vasco (UPV-EHU), Escuela Politécnica.

### Resumen

En el presente trabajo se muestra la aproximación efectuada en cuatro casos de estudio de Honduras, en los que se vienen aplicando técnicas de teledetección pasiva y activa para, primero evaluar el estado del patrimonio, y posteriormente generar modelos de predicción y ocurrencia de incendios mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) con vistas a proponer criterios de protección. Se expone el proceso de datos de distintos sensores espaciales, PALSAR, ETM+ y ASTER para las área de estudio de Jesús de Otoro, Valle de Choluteca y Río Aner, así cómo los resultados obtenidos mediante aplicación de técnicas de prospección mineralógica y cálculo de anomalías espectrales cuyo objetivo último es la correlación con actividad humana. Se analiza, a partir de la información extraída, el impacto en los hábitats humanos con evidencias de patrimonio cultural y natural ante fenómenos de riesgo y catástrofe, y se describen las principales líneas futuras de actuación.

**Palabras Clave:** patrimonio cultural, patrimonio natural, SIG, teledetección, prospección, incendios.

### Introducción

Honduras, como muchos otros países que guardan importantes vestigios del patrimonio cultural mundial, ve amenazada su integridad debido a causas naturales o humanas, provocadas por fenómenos que azotan estacionalmente la región, o por desastres y expolios a los que se ven expuestos. Una primera acción para proteger el patrimonio es evaluar acertadamente su estado, primeramente ubicando su situación, para seguidamente medir parámetros que aporten información precisa que permita una correcta gestión del mismo. En este sentido, las tecnologías de teledetección, tanto espaciales como de rango corto, cobran un importante protagonismo, posicionándose en los últimos años como herramientas eficientes para la monitorización, protección y reconstrucción del patrimonio cultural. La combinación de datos adquiridos en toda la gama del espectro electromagnético y su integración en Sistemas de Información Geográfica, implica una cualidad muy ventajosa que permite analizar de manera rigurosa y global los fenómenos que afectan o han afectado al patrimonio cultural.

La prospección por técnicas no destructivas y las nuevas tecnologías de detección y registro en patrimonio cultural, entre las cuales destaca la teledetección en sus diferentes facetas (espacial, aeroportada y de rango corto) suponen un campo de investigación abierto y de gran potencial, tal y como se deduce de las correspondientes publicaciones científicas y eventos internacionales (Enmolo *et al.*, 2004; Farjas *et al.*, 2008; Kelong *et al.*, 2008; Rejas *et al.*, 2009a, 2009b). Su desarrollo en las últimas décadas amplía las posibilidades de optimización de metodologías para la representación y estudio en investigaciones arqueológicas, antropológicas y del estado del patrimonio, en su sentido más amplio.

Los sensores hiperespectrales, que registran imágenes en una gran gama de bandas del espectro electromagnético visible (VIS), infrarrojo cercano (NIR), de onda corta (SWIR) y térmico (TIR), permiten obtener datos de alta resolución espectral de amplias regiones en

secuencias temporales continuas. Podemos medir parámetros biofísicos y calcular anomalías espectrales y térmicas que puedan ser indicativas de presencia de estructuras antrópicas, o de patologías que afectan a éstas (Traviglia, 2006; Rejas *et al.*, 2007). A su vez, nos aportan información sobre sinergias entre usos de la tierra, geomorfología, mineralogía y vegetación como producto de causas naturales o afectadas por el cambio climático.

Por otro lado, nuevas tecnologías espaciales en la región de las microondas, entre las que se encuentran los radar de apertura sintética (SAR), con capacidades polarimétricas e interferométricas, permiten registrar información por debajo de las coberturas forestal y nubosa que caracterizan los distintos ecosistemas de Centroamérica, aportando de esta manera información de los hábitats humanos con presencia de patrimonio (Weller *et al.*, 2006). En el presente trabajo, enmarcado en el proyecto conjunto de investigación MAIAS-FORMAIAS, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo (AECID), se resumen las experiencias y resultados llevados a cabo a partir de la implementación de estos métodos. Se definen las áreas de ensayo en Honduras, se exponen las características de los datos utilizados y se muestran los resultados preliminares obtenidos a partir de teledetección en modelización de ocurrencia de incendios, prospección y caracterización espectral de patrimonio.

### Enfoque y Casos de Estudio

Se han contemplado tres grandes líneas de acción, que implican así mismo tres campos de investigación: prospección a partir de sensores remotos activos y pasivos, modelización de fenómenos que puedan predecirse mediante SIG y caracterización espacial y espectral del patrimonio a escala media y micro.

Se han definido 4 áreas de ensayo de tipologías diferentes como zonas de test de la investigación, en las tres líneas de trabajo mencionadas. Están situadas en ecosistemas distintos, en paisajes geomorfológicos distintos también y en hábitats principales de grupos étnicos diferentes (Rivas, 1993). El resultado de esta definición es intencionado, pretendiendo abarcar la mayor variabilidad posible para extrapolar y validar modelos y conclusiones a otras áreas del país en posteriores fases del proyecto.

1. *Valle de Jesús de Otoro (TA.1)*. Situado a lo largo del Río Grande de Jesús de Otoro, en el municipio que le da nombre. Se trata de una zona no muy extensa, con evidencia de numerosos de sitios arqueológicos. La zona está dentro del área de influencia del pueblo Lenca, uno de los principales grupos étnicos de Honduras. Existe una presencia abundante de plazas ceremoniales en el valle, que presentan un patrón básico de pirámide central en medio de plaza empedrada con 6 ó más montículos rodeándola, correspondientes a otras tantas pirámides más pequeñas, en una orientación a los cuatro puntos cardinales.

2. *Región Sur: Choluteca (TA.2)*. Es básicamente el llano costero del Pacífico en el sur del país, centrado en la ciudad que le da nombre, por la cual pasa el Río Choluteca que desemboca en el Golfo de Fonseca. Área arqueológicamente muy desconocida, pero con gran potencial por considerarse paso obligado para los movimientos tempranos de la población amerindia (Stone, 1957).

3 *Río Aner - Mosquitia (TA.3)* Amplia región poco poblada de Honduras ocupando prácticamente el tercio Noreste del país. Se trata del área de ocupación e influencia de los pueblos Pech y Misquito dos de los principales grupos étnicos de Honduras, a parte de incluir el hábitat natural de otro de los principales etnias, el pueblo Tawahka, declarada



Reserva de la Biosfera.

4. *Valle de Copán (TA.4)*. Tiene consideración particular como área de estudio, debido a que aglutina desde hace décadas una intensa actividad investigadora internacional en el área Maya de Honduras, actualmente ocupada por los considerados sus descendientes directos, el grupo étnico Chortí.

### Datos y Preproceso

Se han adquirido para una primera fase, datos de sensores satelitales pasivos (multi e hiperespectrales) y de radar de apertura sintética (SAR) para las cuatro áreas de test. Como primera acción, en lo relativo al procesamiento de datos espaciales, se ha generado una base cartográfica para todo el país a partir de imágenes ETM+ del satélite Landsat 7 y modelos digitales del terreno del programa de NASA SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Esta información supone así mismo una entrada primaria en un SIG y dato básico para la generación de modelos de interconexión geoespacial entre las distintas áreas estudiadas.

Se han procesado dos imágenes del sensor Hyperion correspondiente a 2003 y 2004 para el Valle de Jesús de Otoro y zonas aledañas. Estas imágenes se adquirieron en un nivel de proceso L1R al U.S. *Geological Survey* (USGS). Se trata de un sensor hiperespectral satelital del tipo barredor por espejo giratorio o *whisk broom*, que registra datos en 242 bandas del espectro electromagnético, en longitudes de onda de 300 nm a 2500 nm, con un ancho espectral de 20 nm por banda y resolución espacial de 30 m.

Así mismo, se han procesado dos imágenes del sensor ALI (*Advanced Land Imager*) correspondientes a las fechas de 10-02-2004 y 17-01-2007 para las zonas del Valle de Jesús de Otoro y Valle de Choluteca, respectivamente. Las imágenes ALI fueron adquiridas al USGS en un nivel de procesado L1b. Se trata de un sensor barredor por empuje, o *push broom*, que registra 10 bandas del espectro electromagnético entre 300 y 2500 nm, con una resolución espacial de 30 m en las bandas multiespectrales y 15 m en la banda pancromática.

Para completar la cobertura de datos de sensores pasivos en todas las zonas de estudio del proyecto, se han adquirido y procesado escenas de ASTER, sensor espacial del USGS-NASA que toma imágenes en el espectro visible, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico, con resoluciones espaciales de 15m, 30m y 90m, respectivamente.

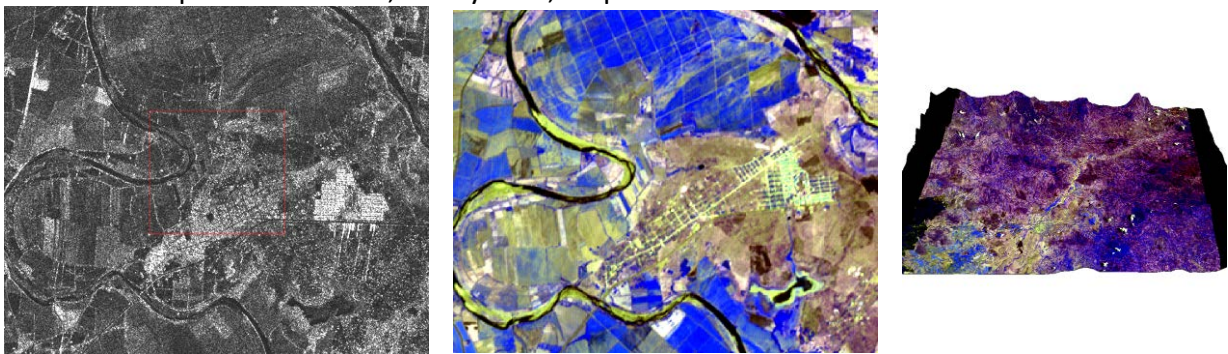
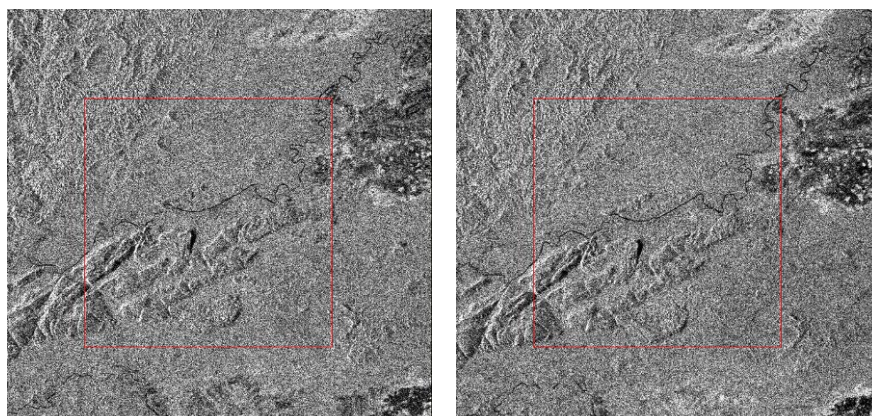


Figura 1. Imagen del sensor PALSAR (izq.), ASTER rgb 3,2,1 (centro) y superpuesta a DEM (drcha.) del TA.2, Valle de Choluteca.

Se han adquirido pares interferométricos del sensor PALSAR de la agencia espacial japonesa (JAXA), suministrados por el ERSDAC (*Earth Remote Sensing Data Analysis Centre*). Se trata de un sensor activo de microondas, instalado en el satélite JERS-1, que adquiere datos en banda L (1270 MHz) en distintas configuraciones de polarización, HH, VV, y polarización cruzada. Las escenas PALSAR adquiridas en modo fino cubren un área de 40 a 70 km de ancho, con una resolución espacial entre 7 y 44 m. Se ha comenzado con el procesamiento y análisis mediante

dos técnicas de tratamiento de datos radar, interferometría diferencial y polarimetría, con el objeto de prospectar el terreno sin la interferencia que aporta la masa forestal o la cobertura nubosa.



**Figura 2. Par interferométrico del sensor PALSAR, Río Aner (TA. 3).**

Desde el servidor Glovis del USGS se han descargado todas las escenas (tanto TM como ETM+) disponibles en cada área de estudio que tuvieran una cobertura nubosa menor al 30%. De esta primera selección, se ha realizado una segunda selección eliminando aquellas escenas con mala calidad o con alta cobertura de nubes o humo en la región de estudio. En la tabla 1 se muestran las escenas seleccionadas en cada área de estudio.

**Tabla 1. Escenas Landsat usadas en cada área de estudio.**

	Path-Row	Nº Escenas	Intervalo Temporal
Valle de Jesús de Otoro	18-50	29	1986-2001
Cuenca del río Aner	16-50	34	1985-2010
Valle de Copán	19-50	36	1986-2010
Valle de Choluteca	17-51	35	1985-2010

### **Análisis de la Ocurrencia de Incendio**

La gestión de las imágenes Landsat se ha abordado con un software de procesamiento automático de áreas quemadas, que permite el cálculo automático de los valores de reflectividad, la generación de variables espectrales típicas para la discriminación de las áreas quemadas y la definición de algoritmos con un enfoque en dos fases. En estos algoritmos, primero se establecen los criterios para identificar aquellas regiones más severamente afectadas que se denominan semillas, mientras que una segunda fase menos estricta permite la cartografía del perímetro final de cada área quemada, únicamente analizando la vecindad de las semillas. Este enfoque ha mostrado una alta eficacia a la hora de automatizar la cartografía de áreas quemadas (Bastarrica, 2009).

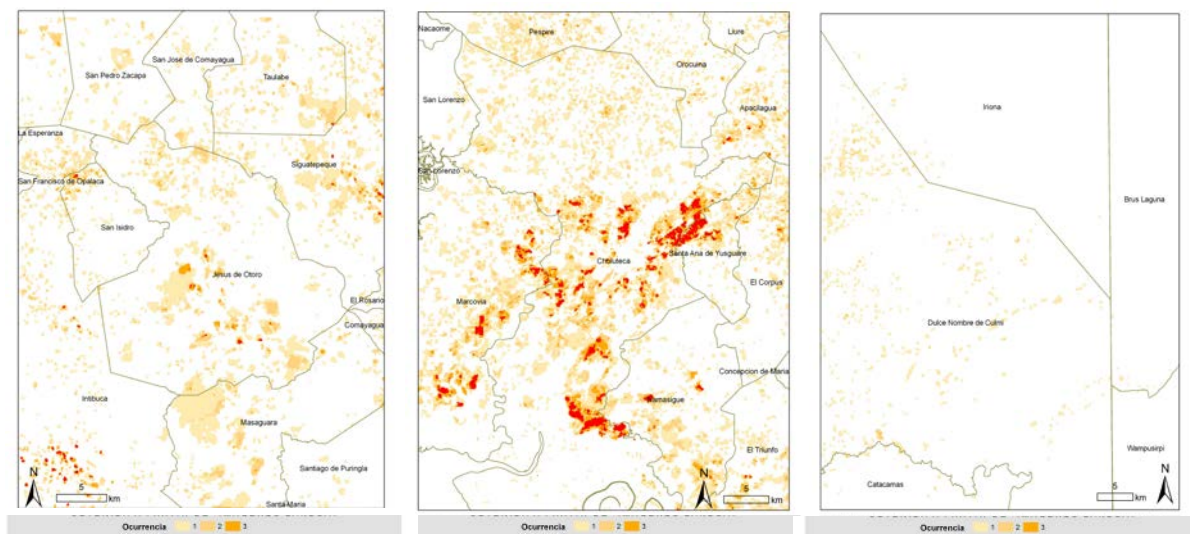
El algoritmo utilizado se describe en la Tabla 2. La fase de semillado se basa en las variables espectrales unitemporales NBR; BAIM, MIRBI y las bandas de reflectividad 4 (NIR) y SWIR (TM7). En esta fase de semillado se impone además un criterio de tamaño, eliminando aquellas semillas menores que 0.25 ha.

La fase 2 se basa en un modelo de regresión multitemporal, que se calcula para cada escena en base a la escena inmediatamente anterior, estableciendo un umbral del 35%. Además se establecen criterios en la banda 4 (NIR) y banda 7 (SWIR) para asegurar que las áreas cartografiadas están realmente quemadas.

**Tabla 2. Algoritmo en dos fases aplicado en el proyecto.**

Fase	Criterios	Area mínima
1: Semillado	$NBR\_post < -0.086$ AND $BAIM\_post > 58$ AND $MIRBI\_post > 1.66$ AND $TM4\_post < 0.15$ AND $TM7\_post > 0.05$ AND	0.25
2: Fase Cartografía	$LR\_multi > 35$ AND $TM4\_post < 0.18$ AND $TM7\_post > 0.05$	

El análisis de la ocurrencia del incendio se realiza en una malla regular de 100 m, contabilizando el número de veces que se ha quemado parcial o totalmente cada recuadro de esta malla en el intervalo temporal considerado en cada área de estudio (que varía entre 15 y 25 años).


**Figura 3. Ocurrencia de incendios en TA.1 (izda.), TA.2 (centro) y TA.3 (drcha.). Modelos a partir de datos TM y ETM+**

### Prospección y Caracterización del Patrimonio Cultural y Natural

La prospección por teledetección se viene abordando con desigual éxito mediante técnicas de clasificación y transformaciones de imagen, principalmente. Tanto en unas como en otras, es necesario validar los resultados, contrastándolos con trabajo de supervisión a pie de terreno. Para este cometido, se han visitado las zonas con expertos centroamericanos, identificando el tipo de material de las cubiertas de interés, y se han recogido muestras de materiales que posteriormente se analizarán en laboratorio. Se han registrado 10 áreas de supervisión para el área de test 1, y se han realizado medidas in situ con un espectrorradiómetro USB4000.

Se han calculado anomalías espectrales aplicando el conocido algoritmo RX (Reed and Xiaoli, 1990) a las imágenes multi e hiperespectrales. Se ha realizado a parte una convolución mediante un filtro de mediana a los canales 10 a 14 de ASTER, para posteriormente calcular un índice entre las bandas térmicas (Rejas *et al.*, 2006) que permita separar clases en función a la distinta emisividad que presentan en las longitudes de onda de 8.125  $\mu\text{m}$  a 11.650  $\mu\text{m}$ . El resultado es una nueva variable en la que se umbralizan y resaltan los píxeles detectados como posibles anomalías espectrales. Se han identificado diversos casos positivos de anomalías en los



Valles de Jesús de Otoro y Choluteca, que pudieran corresponderse con estructuras creadas por el hombre, enterradas o semienterradas.

Se ha empezado a estudiar la geología, así como la composición mineralógica en cada una de las áreas de ensayo, tanto a una escala macro como de elementos y artefactos puntuales. Se ha seguido la denominada Técnica de Crosta (Crosta *et al.*, 2003), análisis de componentes principales de grupos de bandas de imagen utilizado ampliamente para detectar materiales alterados por procesos hidrotermales en distintos escenarios geológicos (Bragado *et al.*, 2008). Se ha detectado la presencia de materiales arcillosos y materiales formados por distintos compuestos de óxidos de hierro. El objetivo de esta tarea es establecer la correlación existente entre las zonas delimitadas con presencia de alteración hidrotermal y zonas con evidencias de presencia humana, actual y pasada, en tres grupos principales de actividad, a saber, núcleos o lugares de explotación minera, producción de alfares y depósitos de escombreras.

Se está realizando el análisis geoquímico y mineralógico a escala micro de los pigmentos y arcillas utilizados en la elaboración tradicional de cerámicas (Báudez, 1966) por parte de las principales culturas étnicas. Se han caracterizado espectral y espacialmente las piezas en laboratorio utilizando un espectrorradiómetro ASD Field-Pro y sistemas láser escáner, respectivamente, para complementar la información sobre composición mineralógica, a la vez que esta tarea permite identificar bandas espectrales diagnóstico para su exploración en las imágenes.

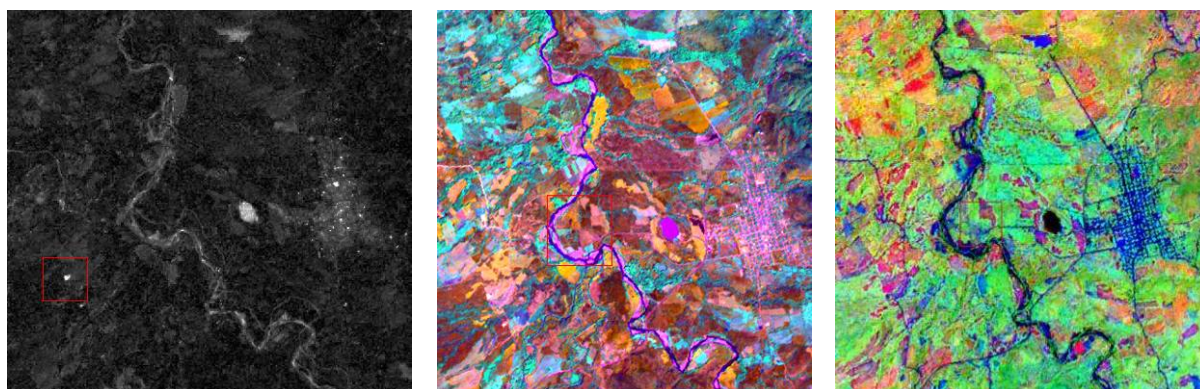


Fig. 4. Algoritmo RX (izda.), combinación rgb ch10, índice ch10/ch14 y ch14 (centro) y combinación rgb Alunite, Kaolinita+Esmecita, Illita (drcha.) a partir de ASTER para TA.1, Valle de Jesús de Otoro.

## Conclusiones

La investigación presentada supone una aproximación en el desarrollo de técnicas y metodologías de teledetección para el estudio y caracterización del lugares de interés patrimonial en Honduras. Se han revisado las características y estrategias de adquisición remota de datos medidos en zonas del espectro reflectivo, emisor, y en la región de las microondas, para cuatro casos de estudio definidos en la investigación.

Se ha calculado la ocurrencia de incendios en los cuatro casos de estudio del proyecto en un período que varía entre 15 y 25 años, observándose una menor incidencia en las áreas de mayor protección medioambiental, concretamente en la Reserva de la Biosfera del Pueblo Tawahka.

Los resultados preliminares muestran un gran potencial de los datos hiperespectrales y multiespectrales térmicos para la detección de alineamientos y estructuras enterradas o semienterradas en los Valles de Jesús de Otoro y Choluteca, si bien no se ha comprobado una relación directa de éstas y las anomalías espectrales calculadas con el algoritmo RX.

Se han medido piezas a escala micro utilizando espectrorradiómetros e instrumentos láser escáneres. Esta línea de trabajo incide en el estudio de los métodos y materiales tradicionales usados para la fabricación de cerámicas, así como en la protección propiamente dicha de elementos patrimoniales autóctonos. Ello ha permitido que, ante pérdidas, daños o expolio, pueda realizarse un seguimiento, restauración y reconstrucción tridimensional de las piezas cerámicas afectadas.

Estas experiencias en su conjunto corroboran cómo la conjunción de varias tecnologías, algunas de ellas de bajo coste, posibilitan el registro y actualización de datos de alta precisión espacial y espectral en una monitorización multitemporal y multiescala, aspectos que inciden positivamente en la protección del patrimonio.

## Referencias

- Crosta, A.P., de Souza Filho, C.R., Azevedo, F. and Brodie, C., 2003. *Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis*. International Journal of Remote Sensing, 24( 21), 4233 – 4240.
- Bastarrika, A., 2009. Cartografía Automática de Área Quemada a Nivel Local-Regional mediante Algoritmos de Contexto Espacial. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares.
- Báudez, Claude F, 1966. *Niveaux céramiques au Honduras: une reconsidération de l'évolution culturelle*. Journal de la Société des Américanistes, LV, 2: 299-342. París, 1966.
- Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. and Martínez, R., 2008. *Characterization of hydrothermally altered materials in the Central Volcanic Range, Costa Rica, using TM data*. Remote Sensing And Photogrammetry Society Conference 2008 "Measuring Change In The Earth System". University Of Exeter (UK), 15-17 September 2008.
- Emmolo, D., Franco, V., Lo Brutto, M., Orlando P. and Villa, B., 2004. *Hyperspectral Techniques and GIS for Archaeological Investigation*. Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey Commission 7.
- Farjas Abadía, M., Rejas Ayuga, J. G., Burillo Mozota, F., López, R., Mostaza Pérez, T. y Zancajo Jimeno J. J., 2008. *Short range photogrammetry and remote sensing application in the celtiberian city of Segeda*. 36<sup>th</sup> CAA 2008, Budapest (Hungary), 2-6 abril de 2008.
- Helbig, K.L., 1959. *Die Landschaft von Nordost-Honduras*. Petermann's Geographische Mittheilungen, Gotha, Alemania. Ergänzungsheft 286. (Traducido al español por Guillermo Cano) , 1965. Áreas y Paisajes del Noreste de Honduras. Banco Central de Honduras, Tegucigalpa, 1959.
- Kelong, T., Yuqing, W., Yang Lin, Y., Riping, Z., Wei, C. and Yaobao, M., 2008. *A New Archaeological Remote Sensing Technology*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008.
- Reed, I.S. and Xiaoli, Y., 1990. *Adaptive multiple-band CFAR detection of an optical pattern with unknown spectral distribution*. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions, V.38 , Issue: 10, Page(s): 1760 – 1770.

- Rejas, J. G., Pineda, M.C., Véliz, S.V., Euraque, D., Martínez, E., Rodríguez J.R., Martínez, R., and Farjas, M., 2009a. *Archaeological remote sensing approach in Honduras. A project for cultural heritage and human habitats protection*. III International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Space Time and Place, 17-21 august, Tiruchirapalli (India), 2009.
- Rejas, J.G., F. Burillo, R. López , M. A.Cano , M. E. Sáiz , M. Farjas , T. Mostaza y J. J. Zancajo., 2009b. Teledetección pasiva y activa en arqueología. Caso de estudio de la ciudad celtíbera de Segeda. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 23-26 de Septiembre, Calatayud, 2009.
- Rejas, J.G., Farjas, M., Burillo, F., López, R., Cano, M.A., Sáiz, M.E., Mostaza, T. and Zancajo J.J., 2008. *Comparative archaeometric analysis through 3d laser, short range photogrammetry, and hyperspectral remote sensing applied to the celtiberian city-state of Segeda*. 37th International Symposium on Archaeometry, Siena (Italy), May 2008.
- Rejas, J.G., Burillo, F., López, R. y Farjas, M., 2006. *Hyperspectral remote sensing application in the celtiberian city of Segeda*. *British Archaeological Reports*, BAR International Series 1568, BAR S1568 2006.
- Stone, Doris Z., 1957. *The archaeology of central and southern Honduras*. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Vol. 49, No. 3., 1957.
- Traviglia, Arianna, 2006. *MIVIS Hyperspectral Sensor for Detection of Subsoil Archaeological Sites and Interpretation Support GIS: an Italian Case Study*. CAA 2006, Fargo, ND-USA.
- Weller, Errin T., 2006. *Satellites, survey and settlement: the Late Classic Maya Utilization of Bajos (Seasonal Swamps) at Tikal and Yaxha, Guatemala*. 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology, Rome (Italy) 4-7 December 2006.

**PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE DANLÍ, EL PARAISO (HONDURAS).  
IMAGENES IKONOS - 2.**

Claudia Nataly Mondragón Rivera <sup>(1)</sup>

(1) Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio, organizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) de España.

**Resumen**

El presente trabajo muestra como los principales lineamientos del Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Danlí, El Paraíso, del año 2011, en donde se utilizaron imágenes IKONO-2, para la elaboración de la cartografía, las imágenes sirvieron como punto de partida para la elaboración del Plan; el cual se elaboró en varias etapas, sin embargo las imágenes representaron cierta limitación al ser desactualizadas; año 2002. Concluyendo en la importancia de la utilización de las imágenes IKONO como punto de inicio, pero no como fuente única de información.

**Palabras Clave:** Plan urbano, Ciudad, Imágenes IKONO, Diagnóstico, Prospectiva, Zonificación.

**Introducción**

La ciudad de Danlí, cabecera municipal del municipio del mismo nombre, forma parte del departamento de El Paraíso y de Región de Desarrollo 11 de acuerdo a la propuesta observada en la Ley de Visión de País y Plan de Nación. Uno de los fines del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Danlí es fortalecer la capacidad institucional de la municipalidad de Danlí, en el marco de control y regulación del uso de suelos, a través de la elaboración de un plan de desarrollo urbano de la ciudad, que dictará lineamientos para la correcta utilización del suelo en la misma.



Para poder realizar el Plan de Desarrollo Urbano se utilizaron 3 imágenes IKONOS-2 de 1 metro de resolución. Año 2002. Otorgadas por el cliente Proyecto Barrio Ciudad del Fondo Hondureño de Inversión Social.

**Antecedentes**

El Gobierno de Honduras solicitó el apoyo del Banco Mundial para la ejecución de un proyecto nacional dentro del marco de la Estrategia para la Reducción de la Pobreza (ERP), específicamente en la pobreza del área urbana. El proyecto fue planteado como pilar fundamental de desarrollo urbano integrado denominado “Proyecto Barrio Ciudad”, para tal fin, el Banco Mundial asignó un fondo de \$15 millones en su Estrategia de Asistencia al País para la ejecución de este.





## Etapas de Elaboración del Plan de Desarrollo Urbano de Danlí

## Fase I. Actividades preliminares

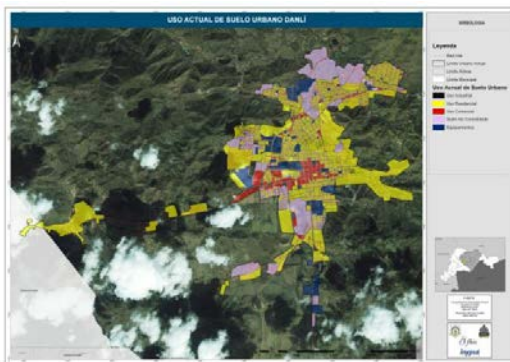
En esta fase se involucraron a las autoridades municipales, Instituciones gubernamentales y no gubernamentales, representantes de la Sociedad Civil y representantes de la población en general, en el proceso de planificación del desarrollo urbano de la ciudad de Danlí.



## Fase II. Diagnóstico

Durante esta fase se elaboró un Diagnóstico participativo que permitió conocer las condiciones de la ciudad y las características biofísicas, socioeconómicas, urbanas, ambientales, uso de suelo y gestión institucional en el área urbana de la ciudad de Danlí, mediante el análisis de las imágenes IKONO-2.

Una de las dificultades encontradas en esta etapa fue la desactualización de las imágenes, que al ser del año 2002 mostraba datos antiguos de la ciudad; suelos no consolidados, áreas no habitadas, problema que fue resuelto con visitas de campo a la ciudad.



Dentro de los problemas y potencialidades territoriales encontradas en la ciudad de Danlí, podemos enumerar:



*Problemas:*

1. Planta de tratamiento de aguas negras tiene deficiencias.
2. Sistema de agua potable insuficiente.
3. Sistema de manejo de residuos sólidos ineficiente.
4. El hospital produce residuos sólidos peligrosos.
5. Deforestación y degradación de los suelos.
6. Congestionamiento vial.
7. Botadero para deposición de desechos sólidos colapsado.
8. La terminal de buses ubicada en el Bo. El Carmelo no cuenta con el espacio y la infraestructura suficiente para ofrecer un servicio de calidad.
9. Las instalaciones donde se ubica el rastro municipal en el Bo. Concepción no cuentan con las condiciones adecuadas para su eficiente funcionamiento.
10. Los principales parques y áreas verdes de la ciudad se encuentran en estado de deterioro

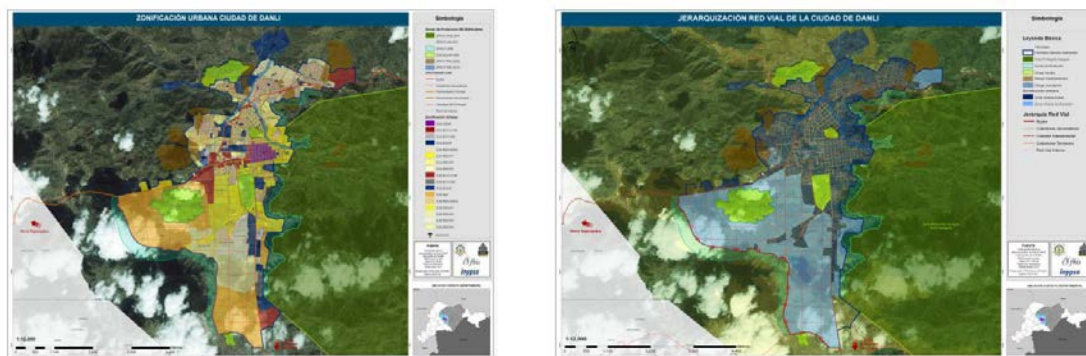
*Potencialidades:*

1. Gestión Ambiental Municipal Integrada. Condiciones de Accesibilidad favorables para el municipio de Danlí.
2. Abundante recurso agua.
3. Danlí como ciudad intermedia de importancia nacional, y principal polo de desarrollo a nivel regional.
4. Danlí cuenta con espacio suficiente y adecuado para la expansión urbana. Existencia en la ciudad de suelos a densificar.

Fase III. Propuesta y Validación del Plan

Elaboración y validación de la propuesta de desarrollo urbano de la ciudad de Danlí, para garantizar el crecimiento ordenado, seguro y efectivo de la ciudad y el involucramiento activo de los principales actores responsables a nivel local.

Dentro de las propuestas que se realizaron se encuentran: Ordenamiento Ambiental, Seguridad Física y Gestión de Riesgos, Plan General de Usos del Suelo, Sectorización Urbana, Zonificación de Usos del Suelo Urbano, Equipamiento Urbano, Desarrollo Armónico del Paisaje Urbano, Servicios Básicos, Propuesta del Sistema Vial, Plan de Desarrollo Turístico, Municipal de Danlí, Plan de Transferencia de Tecnología, al Sector Agropecuario de Danlí.



Dentro de la propuesta de zonificación, Unos lineamientos para la identificación y desarrollo de las zonas urbanas y urbanizables; que se identifican en el presente documento y la zonificación de las siguientes áreas:

- ZONA URBANA ACTUAL (ZUA)

- ZONA URBANA DE EXPANSIÓN (ZUE).

El ámbito territorial de la ciudad se divide, a efectos de su ordenación, en las ZONAS Y SUBZONAS.

Para definir los usos del suelo en cada uno de los ámbitos urbanos, se han considerado los siguientes criterios, además del comportamiento de la población, y otros datos resultantes del análisis de los escenarios, las tendencias generales de su crecimiento y distribución:

- Para la ubicación de las zonas de suelo urbanizable propuestas se han considerado las áreas del sur oeste del núcleo actual, previendo desarrollos más compactos
- Las zonas de suelo urbanizable se proponen alejadas de las áreas más vulnerables desde el punto de vista ambiental, respetando los suelos de mayor valor, áreas naturales protegidas, áreas de recarga de acuíferos, zonas de riesgo por deslizamientos de tierra, sismicidad o inundación.
- Se ha analizado el rol que corresponde a la ciudad de Danlí y su relación con el resto de los asentamientos de la región, según criterios de localización, funcionalidad, accesibilidad, topografía, vulnerabilidad, así como las potencialidades y vocación del suelo del territorio urbano.
- Se contempla la localización de nuevos proyectos industriales, concentrados en áreas de calidad, específicamente en la parte sur este de la ciudad; así como la localización de áreas de actividad logística en las zonas aledañas a la Carretera que conecta con El Paraíso.
- Las Redes Viales Urbanas propuestas en las nuevas zonas de suelo urbanizable han sido definidas previendo su facilidad de conexión a los suelos urbanos existentes y su relación con las zonas aledañas, con la finalidad de facilitar la integración entre los asentamientos humanos aledaños.
- Los suelos no urbanizables se excluyen de los procesos de urbanización, debido principalmente, a sus valores ecológicos y ambientales, y a la valoración de los riesgos, tanto por deslizamientos y sismicidad, como por inundaciones.

#### Fase IV. Aprobación y Seguimiento

En esta fase final, se realizaron las gestiones correspondientes para la aprobación del Plan por parte de la Corporación Municipal, y a la vez, conformar el Comité de Seguimiento e Implementación del mismo.



#### **Conclusiones**

El año de las imágenes IKONO-2 que se disponían significaron un reto debido a que al no estar

actualizadas implicaron la elaboración de varias visitas de campo en varios sectores de la ciudad para validar y actualizar información.

Las imágenes estaban en un principio únicamente georeferenciadas, pero no ortorectificadas, por lo que se tuvieron retrasos al inicio del proyecto.

Las imágenes IKONO de 1 metro de resolución combina digitalmente las imágenes pancromáticas de 1 metro de resolución con las imágenes multiespectrales de 4 metros, resultando un nuevo producto que presenta la ventaja de contar con una resolución de 1 metro y con la alta resolución espectral (mayor discriminación) de las bandas del visible y lo infrarrojo.

### **Literatura citada**

GÓMEZ Orea, Domingo 2001. Ordenación del Territorio. Madrid

HONDURAS, Ley de Ordenamiento Territorial 180-2003, 30 de Octubre de 2003, La Gaceta, 30 de Diciembre de 2003, núm.32, 271.

HONDURAS, Ley Visión de País, Plan de Nación 286-2009, Enero 2010, La Gaceta, 2 de Febrero de 2010, núm. 32,129.

INYPESA. 2011. PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE DANLÍ, EL PARAÍSO. Tegucigalpa, Honduras.

**EL ESTUDIO DE SITIOS ARQUEOLOGICOS POR MEDIO DE LAS TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION GEOGRAFICA, EN HONDURAS. FASE I CASO JESUS DE OTORO, DEPARTAMENTO DE INTIBUCA.**

Vito Véliz<sup>(1,2)</sup>, César Rodríguez<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Arqueoastronomía, Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

<sup>(2)</sup>Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio, organizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) de España.

## **Resumen**

En el 2008 se inició un proyecto de teledetección con investigadores españoles (Juan Gregorio Rejas) y con la colaboración del Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica (CTIG). La idea era recopilar información sobre sitios arqueológicos en todo el país. Este proyecto se concentra en un área con características ambientales específicas. El área es el Valle de Otoro en la parte nororiental del Departamento de Intibucá. Junto con el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) se seleccionó esta área por dos razones: ya se tenía datos sobre los restos arqueológicos en el valle y representa un nicho ecológico especial que puede dar pautas para zonas similares en el resto del país. Durante esta Primera Fase se busca, en primer lugar, recopilar toda la información posible sobre los restos arqueológicos de este valle, siendo la fuente básica un informe de investigadores del IHAH. En segundo lugar, con fondos ya disponibles de una Beca Básica de la DICU, se espera visitar la zona y tomar lecturas con GPS nuestro para corroborar los datos del IHAH. Se procederá después a analizar más a fondo esos datos para determinar orientaciones y relación con eventos solares o de otros astros.

## **Introducción**

Uno de los objetivos primordiales del Departamento de Arqueoastronomía es buscar la relación entre monumentos culturales antiguos (edificios, altares, estelas) y los astros. La posibilidad de esa relación es una propuesta que viene desde el siglo XII y tomó auge desde la década de 1960. La relación puede ser entre monumentos de un sitio arqueológico y también entre sitios arqueológicos. La ubicación exacta de los distintos sitios arqueológicos y mapas exactos de esos sitios pueden ayudarnos a encontrar más fácilmente esas relaciones. Es por tal motivo muy aconsejable hacer trabajo de campo para ubicar esos sitios arqueológicos en hojas cartográficas. En una etapa posterior de este proyecto, se estará aprovechando la información sobre la ubicación de estos sitios arqueológicos para aplicar tecnologías avanzadas de teledetección y tratar de reconocer esos mismos sitios arqueológicos en imágenes satelitales y encontrar las características en esas imágenes que representan a esos sitios arqueológicos.

En el campo de la arqueología, la forma tradicional de buscar y de registrar sitios arqueológicos ha sido involucrando a arqueólogos, estudiantes y técnicos quienes se desplazan por las zonas geográficas, previamente seleccionadas, registrando en mapas con curvas de nivel los sitios arqueológicos que se encuentren. Esta metodología ha resultado válida y fructífera, pero bastante onerosa y consumidora de tiempo.

Con los adelantos tecnológicos actuales, se está haciendo esfuerzos para aprovechar esos avances y lograr iguales y quizá mejores resultados en menos tiempo y a menos costo. La técnica de la cual se busca aprovecharse es la conocida como “teledetección”. Se trata del uso de imágenes satelitales de la tierra para tratar de reconocer restos arqueológicos en determinadas zonas.

Uno de los objetivos de la Arqueoastronomía es conocer la relación de monumentos de un sitio arqueológico con los astros y también la relación entre sitios con esos mismos astros, entonces es necesario conocer tanto la ubicación como la orientación exactas de esos monumentos y de esos sitios arqueológicos. Estas investigaciones pueden también aprovecharse para entrenamiento y experiencias de estudiantes y también como material para las clases de la Asignatura “Introducción a la Arqueoastronomía”.

### **Objetivos**

El objetivo **general** de este proyecto es ubicar sitios arqueológicos en el campo y trasladar la información a documentos.

Entre los objetivos **específicos** están:

1. Tomar las lecturas de las ubicaciones de los sitios arqueológicos con GPS.
2. Con mapa en mano, ubicar esos sitios en Hojas Cartográficas con curvas de nivel.
3. Presentar esta información para el SIG.

### **Área de estudio**

#### Valle de Jesús de Otoro

Este valle está en el Departamento de Intibucá, Región Centro-Occidental del territorio hondureño, a pocos minutos hacia el oeste desde Siguatepeque, carretera a La Esperanza. Al Valle de Otoro lo baña y lo drena el Río del mismo nombre que, conocido como Río Puringla, nace en las Montañas de la Sierra, al sur, las que se extienden desde el Departamento de La Paz hacia el norte hasta el extremo sur del Departamento de Intibucá, donde está el valle. En Intibucá se le llama Río Grande o Río de Otoro y en el Departamento de Santa Bárbara se conoce como Río Jicatuyo, el que se convierte en el Río Ulúa, uno de los más importantes ríos de Honduras.

El Valle de Otoro tiene una extensión de 110 kms<sup>2</sup> y se aprovecha básicamente para la agricultura y la ganadería.

En este valle reina una vegetación de matorral, resultado de un bosque seco subtropical. El suelo del valle es arcillo-pedregoso y el tipo de plantas que alberga son resultado de una adaptación a la larga estación seca que reina en la zona. En este ambiente, muchas veces las hojas se transforman en espinas y, durante el verano, las hojas se caen. Los árboles son bajos y de madera dura.

Arqueológicamente hablando, el valle es muy rico. De acuerdo con los estudios del IHAH específicamente realizados por el arqueólogo Oscar Neill, en 12 kms<sup>2</sup> se ha encontrado doce sitios arqueológicos, de los cuales diez son prehispánicos, uno es colonial y uno de petrograbados. De los prehispánicos, cinco son de Categoría 5, lo que quiere decir básicamente que tienen estructuras de 5 a 12 mts. de altura y dos son de Categoría 4, con montículos de 3.5 a 6 mts. de altura. El resto son de tamaños menores.

### **Metodología**

El proyecto global consta de reconocer restos arquitectónicos arqueológicos en imágenes satelitales. Posteriormente estudiar el entorno para tratar de identificar peligros naturales y antrópicos para estos restos, buscar alternativas de uso de la tierra y proponer medidas de protección, conservación y aprovechamiento para las comunidades. El objetivo por ahora es hacer un reconocimiento o recorrido arqueológico, obtener la ubicación de esos sitios en Hojas Cartográficas y obtener lecturas de GPS para una ubicación más exacta en las imágenes satelitales.

Con los adelantos tecnológicos actuales, se está haciendo esfuerzos para aprovechar esos avances y lograr iguales y quizá mejores resultados en menos tiempo y a menos costo. La técnica de la cual se busca aprovecharse es la conocida como “teledetección”. Se trata del uso de imágenes satelitales de la tierra para tratar de reconocer restos arqueológicos en determinadas zonas.

El objetivo por ahora es hacer un reconocimiento o recorrido arqueológico, obtener la ubicación de esos sitios en Hojas Cartográficas y obtener lecturas de GPS para una ubicación más exacta en las imágenes satelitales.

Contratando un vehículo tipo paila, doble tracción y doble cabina, se visitará las zonas de Jesús de Otoro para obtener información de los vecinos en cuanto a la presencia de restos arqueológicos en la zona, hacer recorridos para ubicar esos sitios con GPS y ubicarlos aproximadamente en las Hojas Cartográficas con curvas de nivel. La acción final será producir los SIG para contar con esa información en nuestros registros y poder estudiar y comparar con otros resultados.

A pesar de los avances tecnológicos a disposición de la arqueología, antes de poder aprovecharlos es necesario un trabajo de inspección en el campo. Es conveniente ir al campo y ubicar restos arqueológicos con arquitectura visible que pueda, en alguna manera, reflejarse en las imágenes de satélites. Una vez ubicados los restos arqueológicos, habrá que identificar ese punto en la imagen satelital. Al ubicar ese punto, habrá que identificar las características que demuestra para encontrar los criterios de identificación de restos arquitectónicos arqueológicos en éstas y en otras imágenes satelitales.

Lo primero a resolver es la ubicación exacta de esos restos arquitectónicos arqueológicos para, posteriormente, identificarlos en las imágenes de satélite. Nuestra primera tarea, entonces, es buscar y ubicar los restos arqueológicos en las zonas de Jesús de Otoro. Aunque el IHAH nos ha proporcionado datos de restos arquitectónicos arqueológicos en Jesús de Otoro, conviene verificar su ubicación con GPS para trabajar con los mismos criterios de ubicación.

El mejor tiempo para los recorridos o reconocimientos arqueológicos en el campo es durante la época seca. Esto permite movimiento y visibilidad óptima porque los matorrales están secos y los arbustos tienen poco follaje. Es así posible movilizarse más rápido y reconocer más rápidamente los restos arqueológicos arquitectónicos.

Se utilizarán las imágenes satelitales de Ikonos y Landsat existentes en los archivos de la Facultad de Ciencias Espaciales y correspondientes a la zona de estudio, de no existir se obtendrán de sitios de descarga gratuita imágenes landsat actualizadas.

Se gestiona la obtención de un GPS de alta resolución para el trabajo de campo del próximo mes de verano.

Se trabajará con Arc GIS para el desarrollo de los mapas y se usarán hojas cartográficas del área de estudio. La bibliografía actualizada se obtendrá de archivos del Instituto de Antropología y de nuestro Centro de Documentación en Arqueología astronómica

## **Resultados**

Sobre este proyecto se cuenta ya con cierto avance ya que durante el 2009 comenzamos a aproximarnos a esa metodología, junto con contrapartes de España. Algo que se logró definir, y en consulta con las autoridades del Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), fue tres zonas en el país para iniciar nuestros ensayos: 1) Valle de Jesús de Otoro, 2) una franja norte-sur en la planicie marítima de Choluteca, a lo largo del Río Choluteca, 3) Aguas arriba por el Río Aner, desde su confluencia con el Río Awás, Olancho. Estas son tres zonas con ambientes naturales distintos, que pueden darnos pautas para los distintos ecosistemas en el país.

Estas investigaciones pueden aprovecharse para la capacitación de Estudiantes de las clases de la Asignatura “Introducción a la Arqueoastronomía”.

También se estará contribuyendo con el IHAH en la conformación del Atlas Arqueológico, proyecto en ejecución desde hace varios años.

La aplicación de técnicas de teledetección para el reconocimiento de restos arqueológicos arquitectónicos en la superficie terrestre es algo nuevo en Honduras. Especialmente en Europa, este tipo de proyecto ha dado resultados positivos. Pero las circunstancias y la naturaleza de los restos no son iguales. Entonces, es necesario hacer pruebas y encontrar las técnicas apropiadas para poder reconocer esos restos aquí en Honduras.

Uno de los procesos para afianzar esas técnicas de reconocimiento es conocer los sitios arqueológicos en tierra, ubicarlos en la imagen satelital y analizar los rasgos del punto representativo de esos restos en la imagen. Se describen los rasgos representativos de esos sitios arqueológicos para poder reconocer esos mismos rasgos en otros puntos de las imágenes satelitales.

Debe recalcarse que este proyecto es solamente una parte de todo el proceso del proyecto general. Como tal, nuestra hipótesis específica es que la ubicación exacta de estos restos nos llevará al punto exacto de la imagen satelital de la zona de estudio. Se podrá entonces reconocer la naturaleza de los pixeles que representan esos restos arquitectónicos y podrán así posteriormente reconocerse en otras imágenes y en otras zonas del país.

La mejor época en Honduras para los recorridos o reconocimientos arqueológicos en el campo es durante la época seca. Esto permite movilidad y visibilidad óptimas porque los matorrales están secos y los arbustos tienen poco follaje. Es así posible movilizarse y reconocer más rápidamente los restos arqueológicos arquitectónicos en la superficie terrestre.

Se tratará de que el equipo de campo lo conforme cuatro personas entre investigadores y asistentes y, previa información de vecinos, análisis de datos y revisión de archivos, se movilizarán en vehículo para verificar la información obtenida.

Este proyecto busca aprovechar distintas técnicas de teledetección para ubicar sitios arqueológicos por medio de imágenes satelitales. Anteriormente con la asistencia de CTIG, se hizo una tabla en la que se concentró la información sobre estos sitios. Para las pruebas con las imágenes satelitales y en comunicación con el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), se definió trabajar en tres zonas de Honduras, ecológicamente distintas: Valle de Otoro, Planicie de Choluteca, Olancho. Estas zonas se visualizaron como rectángulos de 60x30 kilómetros. El primer trabajo en estas zonas era ubicar los sitios arqueológicos lo más exactamente posible, realizando visitas a las mismas y ubicando los sitios por medio de GPS. Esa información luego se trasladaría a las imágenes satelitales para ubicar allí esos sitios. Con el fin de unificar ideas, se hizo también una búsqueda de conceptos culturales tal como se definen en leyes, reglamentos e informes arqueológicos nacionales e internacionales. El trabajo en el Valle de Otoro es la Primera Fase desarrollada solamente por la FACES para ubicar sitios arqueológicos y buscar su relación con los astros. Las Fases subsiguientes serían las zonas de la Planicie de Choluteca y luego la zona de Olancho.

Se inició una investigación sistemática en el archivo etnohistórico del IHAH de los diferentes sitios arqueológicos de Honduras en principio se hizo una lista de sitios arqueológicos de El Paraíso, Currusté, Islas de la Bahía conteniendo coordenadas, municipio, mapas, etc. Este resumen de sitios arqueológicos fueron registrados por el arqueólogo Estadounidense John Deoff.

Se tomó en cuenta las categorías que habla la ley para protección cultural de la nación Decreto N 22-97, y son las siguientes: *Monumentos, bienes muebles, conjuntos, sitios arqueológicos,*

*fondos documentales, fondos bibliográficos, manifestaciones culturales de los pueblos indígenas, manifestaciones culturales de origen vernáculo vivas, colecciones arqueológicas y zonas arqueológicas.*

También se gestionó el índice general de todas las publicaciones de la revista Yax-kin desde 1975 hasta el 2008 para investigar de los diferentes sitios arqueológicos y encontrar información que nos ayudara para nuestro proyecto de algunos sitios arqueológicos, el mismo se encuentra en las oficinas del departamento de Arqueoastronomía.

Las técnicas no destructivas de *teledetección* o *detección remota* constituyen una valiosa herramienta en el trabajo arqueológico ya que constituyen métodos que permiten obtener información sin deteriorar los yacimientos. Además existen otro tipo de ventajas como que el radar puede traspasar la oscuridad la nubosidad, los doseles de selva gruesos, e incluso el suelo. Podemos obtener datos de forma periódica e independientemente de si es noche o día. Se puede trabajar fácilmente con grandes extensiones de terreno. Es posible la toma de datos en zonas de escasa o nula accesibilidad siendo protagonistas en áreas donde no puede realizarse tan fácilmente un muestreo. (por ejemplo la zona de la Mosquitia hondureña aun desconocida y Olancho).

### **Discusión**

El uso de esta técnica de trabajo es nuevo para Honduras, se espera lograr excelentes y novedosos resultados que nos ayuden a llenar vacíos grandes de información.

### **Trabajos futuros**

El profesor vito veliz se ha retirado como profesor de la Facultad de Ciencias Espaciales, quedando a cargo del proyecto el profesor Cesar Rodriguez. En estos meses desde la asignación de fondos a principios de año se han hecho trámites administrativos para la obtención de equipo y papelería con varias compras ya realizadas y faltando a la próxima semana la adquirían de un GPS de precisión, para la realización del trabajo de campo la segunda quincena del próximo mes de ser posible.

Don Vito supervisara el desarrollo de la investigación y dirigirá el trabajo de campo el cual se realizara posiblemente en la tercera semana de abril, después de la asignación total de fondos y compra final de equipo. Parte de la beca obtenida con la DICU

### **Literatura citada**

ARTICULO de Teledetección Aplicada sin autor en [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telap/Inves\\_tel/contenido.htm](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telap/Inves_tel/contenido.htm) (consultado el 20 de febrero 2011).

BAUDEZ CF. 1966. Niveaux céramiques au Honduras: une reconsidération de l'évolution culturelle. Journal de la Société des Américanistes. LV, 2:299-342. París.

MANCERA-ARCOS, R. TELEDETECCIÓN ARQUEOLÓGICA. en <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telap/telarqueo.htm> (consultado el 20 de febrero 2011)

PINEDA-PORTILLO N. 1997. Geografía de Honduras. Tercera Edición. Editorial Guaymuras, Tegucigalpa.

S.F. Les Camps de Saliniers de la Cote Meridionale du Honduras: Donnees Archeologiques et Documents Historiques. En L'Homme, Hier et Aujourd'hui: Recueil d'Etudes en Hommage a Andre Leroi-Gourhan, (sin recopilador), pp. 507--519. Editions Cujas.

STONE D. 1957 The archaeology of central and southern Honduras. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Vol 49, No. 3. Cambridge, Massachusetts.

VELIZ V. 1983. Síntesis histórica de la arqueología en Honduras. Yaxkin, Vol. VI, Nos. 1 y 2: 1-8. Órgano de Divulgación del Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa.



## Anexos

1. Jesús de Otoro: sitios arqueológicos con sus categorías y características
2. Croquis de sitio Arqueológico, Jesús de Otoro
3. Ubicación geográfica de Jesús de Otoro
4. Ubicación del Valle de Otoro en el Departamento de Intibucá
5. Categorías y ubicación de sitios Arqueológicos en el Valle de Otoro
6. Sitios Arqueológicos en Hoja Cartográfica de Jesús de Otoro. Intibucá
7. Las tres zonas de interés para el desarrollo de la investigación en Honduras
8. Imágenes ETM de los años 1985 y de 1996, Formato Geotif, Proyección UTM, WGS 84. PAN Mosaics TM-ETM+ (varias zonas de Honduras).

### 1. Jesús de Otoro: sitios arqueológicos con sus categorías y características

<b>Categorías</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Otros</b>
<b>Características</b>	-Sin estructuras (campamentos, talleres)	-Menos de 2 mts. -aislados	-2 a 3.5 mts -Patios o plazas -Pisos de estuco -Tiestos policromos -Piedra tallada	-3.5 a 6 mts -Plaza externa -Patrón interno no complejo	-5 a 12 mts -Varias plazas -Zona amplia -Patrón interno complejo -Elementos culturales característicos (estelas, altares)	Abrigos, cuevas, petroglifos, colonial, estelas, campos de pelota, jeroglíficos
<b>Sitios</b>		-La Canoa -Guayamane / -Santa Cruz -Los Dos Brazos -Santiago -Guayamán	-Naranjo -Suntul	-Quebrada Seca -Quila	-Sinsimbla -Agua Caliente -Agua Blanca -Mixcure -San Marcos	-Tatumbula -Pisila -Tenambla -Quelala

## 2. Croquis de sitio Arqueológico, Jesús de Otoro

5

5 a 12 mts

-Varias plazas

-Zona amplia

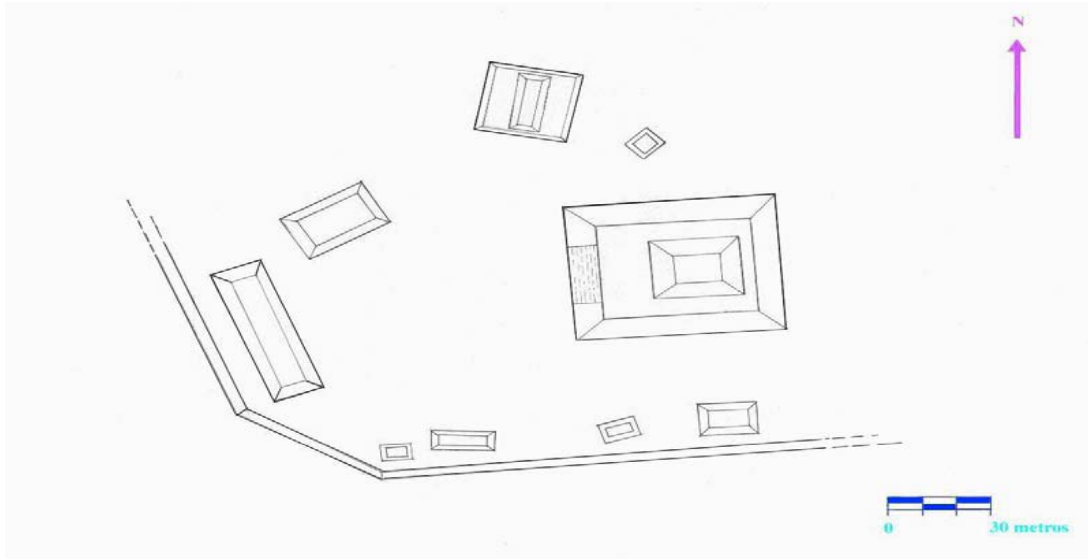
-Patrón interno complejo

-Elementos culturales característicos (estelas, altares)

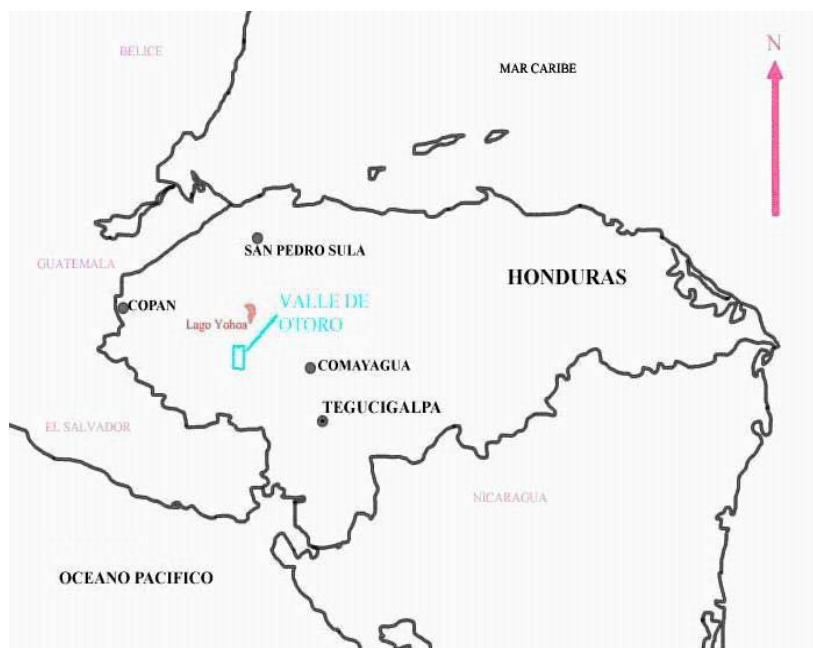
Sitio Arqueológico Sinsimbla

Orientación NW

Oscar Neill



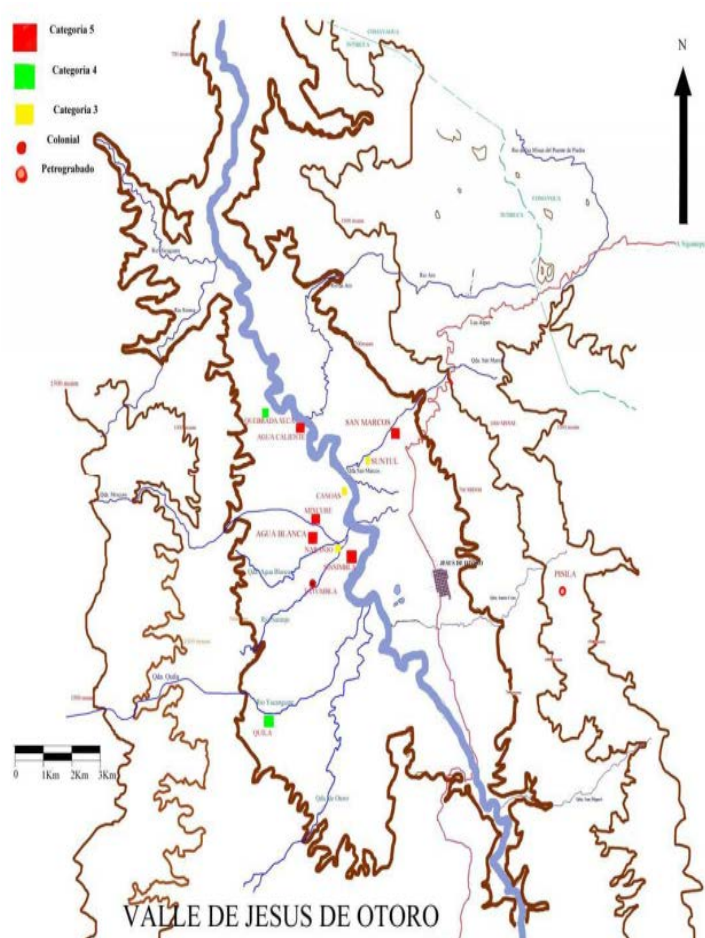
## 3. Ubicacion geográfica de Jesús de Otoro



#### 4. Ubicación del Valle de Otoro en el Departamento de Intibucá



#### 5. Categorías y ubicación de sitios Arqueológicos en el Valle de Otoro







## 7. Las tres zonas de interés para el desarrollo de la investigación en Honduras



## 8. Imágenes ETM de los años 1985 y de 1996, Formato Geotif, Proyección UTM, WGS 84. PAN Mosaics TM-ETM+ (varias zonas de Honduras).

ID	FECHA ADQUISICION	PATH	ROW
p015r50_5t19870124	24/01/1987	15	50
p015r51_4t19890310	10/03/1989	15	51
p016r49_5t19860128	28/01/1986	16	49
p016r50_5t19860128	28/01/1986	16	50
p016r50_5t19860402	02/04/1986	16	50
p016r51_5t19860128	28/01/1986	16	51
p016r51_5t19860402	02/04/1986	16	51
p017r49_5t19850201	01/02/1985	17	49
p017r50_5t19870122	22/01/1987	17	50
p017r51_5t19870106	06/01/1987	17	51
p018r49_5t19870318	18/03/1987	18	49
p018r50_4t19871207	07/12/1987	18	50
p018r51_5t19900206	06/02/1990	18	51
p019r51_5t19900112	12/01/1990	19	51

**ESTUDIO DE UNA COLONIA EN LA REPÚBLICA DE HONDURAS, CENTRO AMÉRICA.**

**PROYECTO: ESTUDIO DE LÍNEA BASE DE BARRIO ELEGIDO Y CONTROL.**

Mirna Cruz <sup>(1,2)</sup>,

(1) Universidad Nacional de Honduras, Honduras. [ccosin2002@gmail.com](mailto:ccosin2002@gmail.com)

(2) Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio, organizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) de España.

**Resumen**

El propósito de este trabajo es dar a conocer la potencialidad de diferentes imágenes procedentes de diferentes sensores y tecnología GPS en estudios de crecimiento urbano y levantamiento de campo. A través de este documento se mostraran los hallazgos del levantamiento de la Línea de Base de la colonia Santo Domingo, (Barrio Elegido) y de la Colonia Vista Hermosa (Barrio Control”) en el marco de ejecución del Proyecto Barrio Ciudad ejecutado para tratar de cumplir con los siguientes:

**Objetivos específicos**

- i. Aumentar el acceso a los servicios básicos e infraestructura de calidad para los hogares urbanos pobres a través de inversiones focalizadas.
- ii. Fortalecer el capital humano y social en los barrios pobres a través de procesos participativos tanto en la planificación, como en la ejecución y mantenimiento de las obras y en la prestación de servicios, incorporando en estas actividades el enfoque de generación de empleo.
- iii. Mejorar la capacidad de los gobiernos municipales para la planificación, financiamiento y la prestación de servicios urbanos e infraestructura.
- iv. Mejorar la capacidad del gobierno local y la comunidad elegida para la prevención multisectorial del crimen y la violencia urbana.

Los principales resultados se presentan vinculando a una caracterización de la población y los indicadores de medición establecidos para la línea de base. De inicio aspectos demográficos, seguido del nivel educativo, estructura familiar, situación de vivienda, servicios básicos, infraestructura comunitaria y la conectividad integran todo el análisis socio demográfico. Otros aspectos ambientales, salud y sociales se analizan considerando factores de vulnerabilidad y desastres, morbilidad general y violencia. Como aspectos concluyentes se retoman las expectativas de mejoramiento de servicios que los pobladores manifiestan y las recomendaciones según la comparabilidad alcanzada en las zonas evaluadas.

**Palabras Claves**

Planificación Urbana, infraestructura, clasificación digital.

**Introducción**

El proyecto se ejecutó en las municipalidades con poblaciones urbanas mayores a 15,000 habitantes y se evaluaron los siguientes componentes:

- A. Servicios urbanos e infraestructura, a ser financiados a través de la ventana préstamo comprometiendo capital público y capital privado. Con la ventana préstamo se pretende “empujar” los procesos de préstamos municipales en Honduras enfocando asuntos claves de Mercado. Este componente incluye proyectos de infraestructura a nivel de ciudad para promover el desarrollo urbano y atraer nuevas inversiones que generen ingresos y que



permitan la recuperación de la inversión. (Ejemplo: mercados, terminales de transporte, infraestructura vial, cementerios, rastros y ampliaciones/mejoramientos de redes de agua y saneamiento de la ciudad) También serán elegibles otras obras de interés municipal para ayudar a equipar las ciudades con instalaciones básicas – estaciones de bomberos, renovación de cascos urbanos, proyectos de reforestación y servicios de comunicación.

- B. Mejoramiento de barrios, a ser financiado a través de una ventana de donación con enfoque a la población pobre. Los barrios urbanos serán seleccionados por sus respectivas municipalidades en base a los criterios de elegibilidad, establecidos para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y conectarles a la ciudad formal. El menú de inversión incluirá obras típicas de mejoramiento urbano tales como: titulación de tierras, conexiones de agua y saneamiento, drenajes pluviales, calles de acceso, centros de recreación, parques, instalaciones comunitarias, alumbrado público, guarderías, obras de mitigación de riesgos, y aquellos gastos elegibles en caso de reasentamiento.
- C. Asistencia Técnica. Esto incluye: Actividades de desarrollo comunitario, Fortalecimiento de gobiernos municipales y fortalecimiento de la Dirección General de Vivienda y Urbanismo de la Secretaría de Obras Públicas y Transporte (SOPTRAVI) – La DGVU es la institución responsable por las políticas y regulación de los sectores de vivienda y desarrollo urbano. Sin embargo, la DGVU ha tenido poca experiencia en la implementación de proyectos y en desarrollo urbano, habiéndose enfocado más hacia el sector vivienda con el apoyo del BID. Este componente ayudará a crear capacidades en la DGVU para entrega de asistencia técnica a las municipalidades, formular políticas y proveer supervisión y regulaciones en el desarrollo urbano;
- D. Prevención del crimen y la violencia urbana, que aprovechará las inversiones de infraestructura social del proyecto y las inversiones conjuntas –municipalidad y barrio – para desarrollar obras públicas y estrategias de prevención que fortalezcan la seguridad comunitaria y la integración del barrio. Este componente no pretende solucionar los problemas de crimen y violencia del país; más bien, busca a lo largo del proyecto, la prevención mediante un mejoramiento en las condiciones de vida, la participación comunitaria y apoyo por parte del programa hacia la comunidad, este componente incluye:
  - i) *Prevención situacional*, que introduce medidas que reducen las oportunidades para problemas específicos de crimen y violencia a través de intervenciones tales como la prevención del crimen y la violencia a través del diseño ambiental y renovación urbana;
  - ii) *Creación de capacidades*, capacitaciones y asistencia técnica en la prevención multisectorial del crimen y la violencia (excluyendo actividades policiales), que incluye: mapeo y diagnósticos comunitarios de crímenes, prevención de la delincuencia juvenil y de la violencia doméstica, seguridad comunitaria, y monitoreo y evaluación;
  - iii) *Inversiones complementarias y actividades*, incluyendo planes municipales para la prevención del crimen y la violencia y fondos de donación para infraestructura complementaria y programas de seguridad comunitaria (excluyendo actividades policiales).
- E. Administración del proyecto, que incluye personal del proyecto en el Gobierno, y empresas privadas en el monitoreo, evaluación y auditorías.  
Este caso procura servir de ayuda y orientación en la adopción de método de levantamiento para la actualización de predios y viviendas.

Para poder ubicar los detalles del predio y las viviendas, se necesitó hacer referencias a puntos de apoyo conocidos del Instituto Geográfico Nacional, o por medio de receptores GPS.

La finalidad principal del levantamiento de detalles y las mediciones de campo fue la elaboración de mapas bases para los mapas temáticos que representaron la información requerida por la consultoría.

Se debió recolectar siempre más datos que los necesarios para tener medidas de comprobación.

Existe variedad de método de levantamiento, está claro que si no se utiliza la modalidad apropiada, el instrumental adecuado y el procesamiento correspondiente a cada objetivo, los resultados podrían ser parciales o totalmente incorrectos.

## Metodología

### Actualización de lotes

Se debe especificar que no se realizó un levantamiento catastral con verificación de escrituras o corroboración exacta de predios con sus longitudes y ángulos, pero si se generaron planos que muestran todos los lotes que actualmente existen en los barrios elegidos de cada municipio, las calles, caminos, las edificaciones y una división aproximada de estos lotes, por cada estructura (vivienda).

No.	Dpto	Municipio	Barrio Elegido	Total	Barrio Control	Viviendas	Muestra 30%
1.	Atlántida	La Ceiba	Los Laureles	175	Las Delicias	320	96
2.	Cortés	Choloma	Fe y Esperanza	107	República de Japón	276	83
3.	Cortés	Puerto Cortés	La Roca y Kilómetro 5	250	El Faro	204	61
4.	Choluteca	Choluteca	San Jorge	200	El Porvenir	567	170
5.	El Paraíso	Danlí	Santo Domingo	100	Vista Hermosa	64	19
				<b>832</b>		<b>1,431</b>	<b>477</b>

### Insumos para la actualización de lotes

Para el desarrollo del Levantamiento de Campo, se utilizaron los siguientes insumos, materiales y equipos:

Insumos:

- Plano vectorial catastral
- Ortofotos e imágenes satelitales Lansat
- Códigos catastrales

### Material y equipo

Para el trabajo de gabinete y cartografía se requirió del mapa general de ubicación, rutas, base croquis por lote.

En el levantamiento se requirió los siguientes materiales y equipos:

- GPS
- Cámaras
- Brújulas
- Cintas métricas
- Tableros

El procesamiento de los datos recopilados se procesaron al finalizar cada día de trabajo de campo, mediante el uso de:



- Computadora portátil
- Cable GPS
- Cable para cámara fotográfica
- Modem inalámbrico.

#### Definición del área de estudio

El área de estudio fue definida por el Proyecto Barrio Ciudad – FHIS en correspondencia con los objetivos del mismo. Se trata de la Colonia Santo Domingo, seleccionada como “barrio elegido” y colonia Vista Hermosa, como “barrio control” en el municipio de Danlí, departamento de El Paraíso, cuyas características son congruentes con los criterios de elegibilidad establecidos por el proyecto.



#### Niveles de investigación

La metodología de investigación del estudio de línea de base se aplicó tanto a nivel de gabinete como a nivel de campo.

##### *- Investigación a nivel de gabinete.*

La metodología de la investigación a nivel de gabinete permitió por un lado, la organización del proceso a seguir y por otro, una aproximación a las características de la situación de las zonas en estudio. Las principales actividades realizadas son:

- Revisión de fuentes de información secundaria (en su mayoría proporcionada por el estado).
- Revisión y ajustes a la Encuesta de Hogares
- Revisión de instrumentos de: Satisfacción, Líderes Comunitarios y autoridades municipales
- Preparación de instructivos por boleta para el equipo de trabajo
- Elaboración de la cartografía de las zonas en estudio
- Capacitación de los equipos de trabajo

- Investigación a nivel de campo

La investigación de campo consistió en la recolección de información tanto del barrio elegido como del barrio control a partir de las siguientes definiciones.

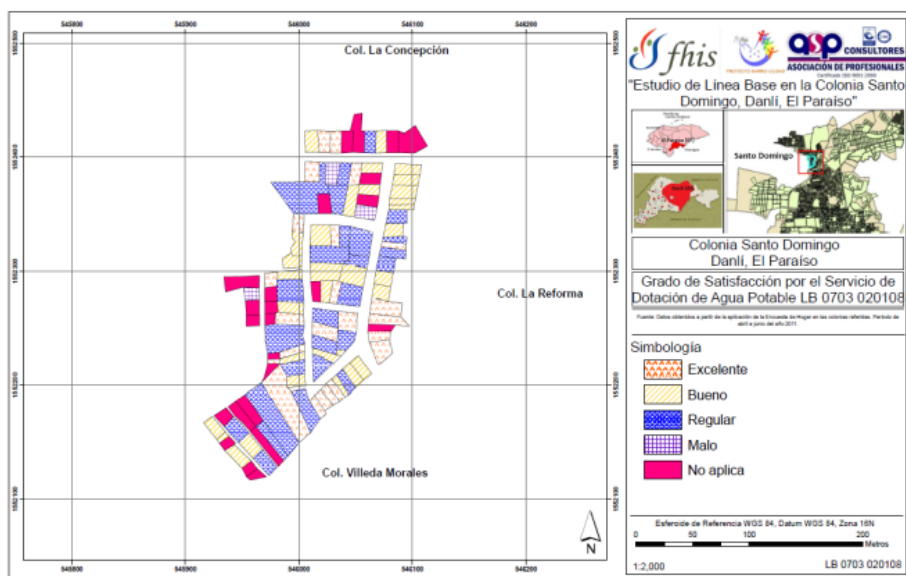


Figura 1.- Muestra el grado de satisfacción de los ciudadanos obtenido por el servicio de dotación de Agua Potable.

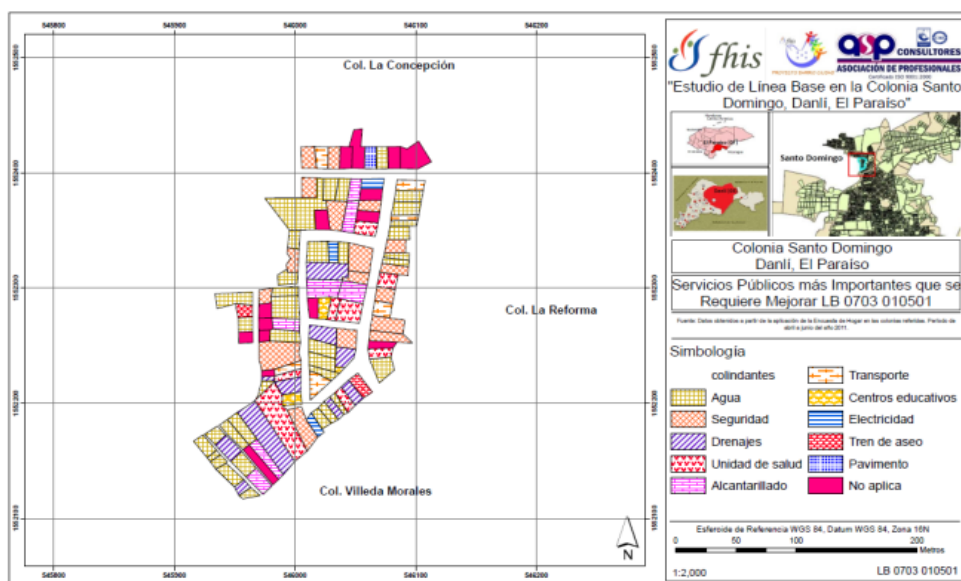


Imagen 2.- Muestra los servicios públicos más importantes que se requiere mejorar.



Imagen 3.- Muestra las áreas de Cobertura del Tren de Aseo

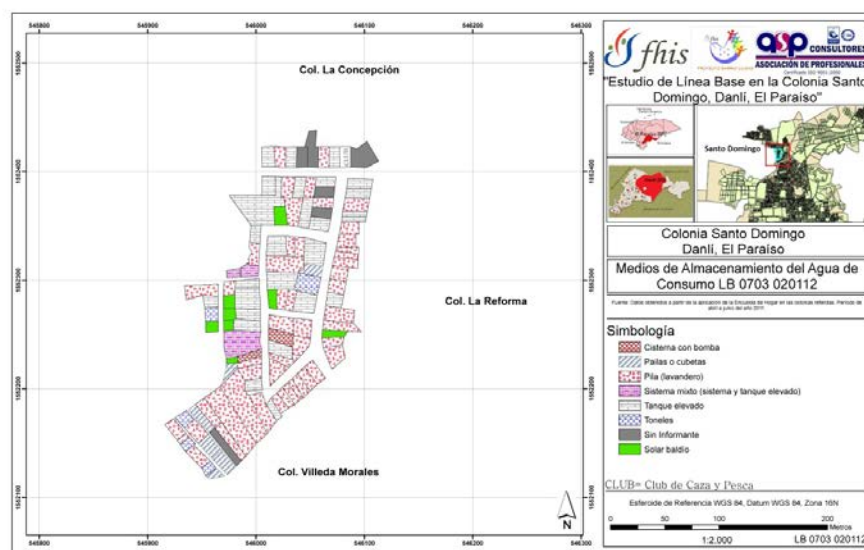


Imagen 4.- Muestra los medios de Almacenamiento del Agua de consumo.

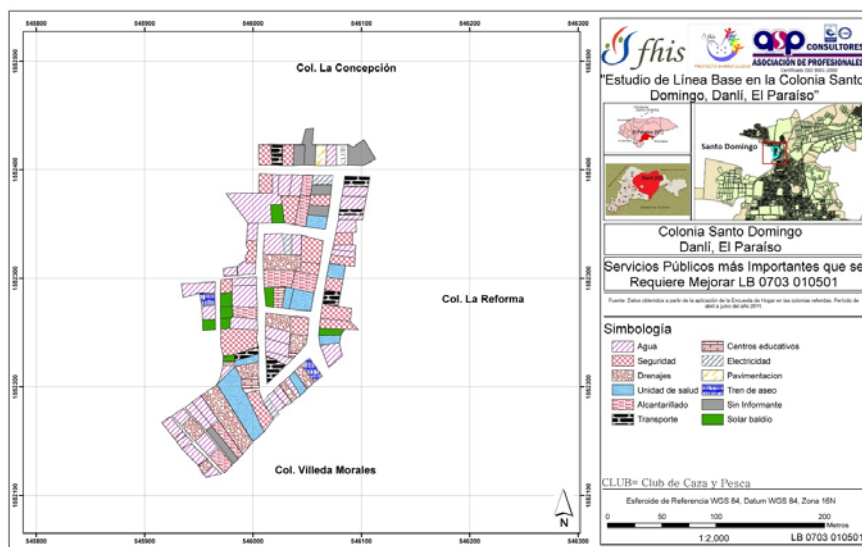


Imagen 5.- Servicios Públicos más importantes que se requiere mejorar dentro de la comunidad.

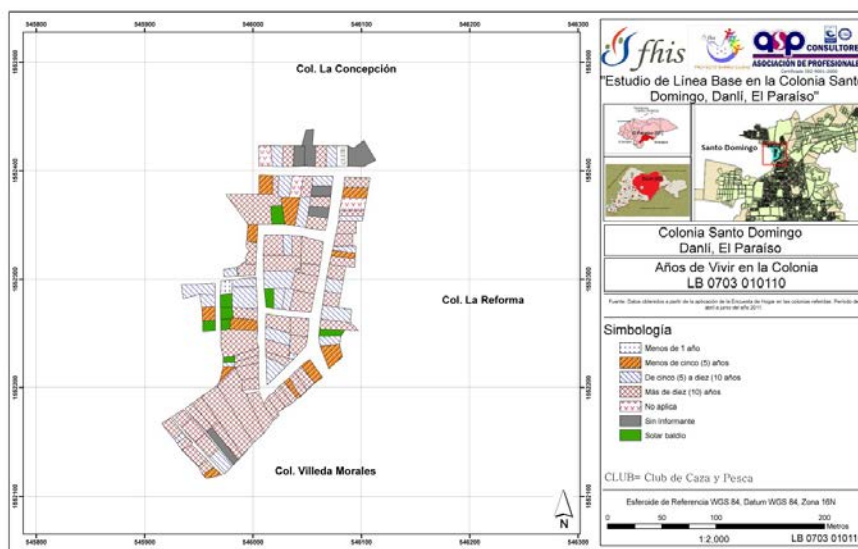


Imagen 6.- Muestra los años que tienen de vivir en la colonia.

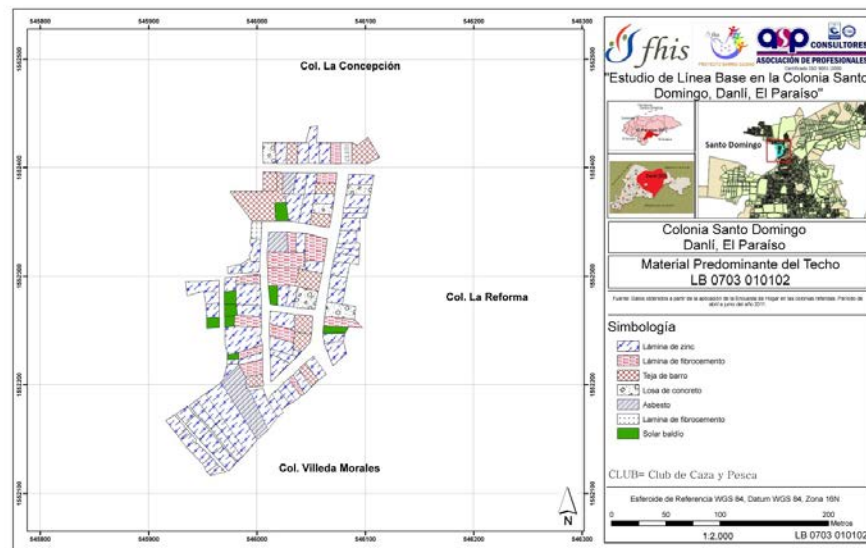


Imagen 7.- Muestra el material predominante en los techos de las viviendas de la colonia.

## Conclusiones

Los resultados del estudio de línea de base de los “Barrios Santo Domingo y barrio Vista Hermosas de Danlí”, denominados a lo largo del estudio como barrio elegido los primeros y, como la barrio control el segundo; indican en general la situación en cuanto a condiciones de vida de la población que habita en estas comunidades.

### Características socio demográfica

- Tanto en la barrio elegido como en la barrio control, en su mayoría, la composición de los hogares está integrada por el/la jefe/a de familia, su pareja y sus hijos e hijas. De igual manera, en ambas zonas se observa mayor presencia del sexo femenino a nivel de los miembros de los hogares.
- La población de los barrios en estudio es joven, por lo tanto vulnerable, expuesta a riesgos de diferente índole.
- La condición de *estado civil* de los miembros de los hogares para ambas zonas se concentra en su orden en: soltero/a, unión libre viviendo juntos y, casado/a viviendo con el cónyuge.
- El nivel educativo más alto alcanzado por la mayoría de la población en ambas zonas es el de Primaria, seguido por el de Secundaria.

### Situación económica ingreso y empleo

- La mayoría de estos hogares dependen económicamente de otras actividades productivas que no son negocios. En aquellos hogares que cuya principal actividad económica es el negocio, prevalece la pulpería, donde trabajan al menos 1 persona miembro de la familia dueña del mismo.
- La mayoría de los hogares en ambos barrios, no tienen el hábito del ahorro. En los pocos hogares que hay algún miembro que pertenece a algún sistema de ahorro, estos en su mayoría lo hacen con los bancos, seguidos por las cooperativas.

- La mayoría de los miembros de los hogares en estudio, no han tenido acceso a un crédito. De los pocos hogares, cuyos miembros han tenido algún crédito, la mayoría de éstos han sido destinados en su orden a vivienda, negocio y cancelación de deudas.

#### Condiciones y estructura de la vivienda

- La mayoría de las viviendas en las dos colonias, están conformadas por una sola familia.
- Existen algunos casos que hay familias que por su crecimiento, comparten el lote o terreno para ubicar o construir su casa.
- En cuanto al tipo de vivienda la mayor parte de la población entrevistada vive en casa o apartamento independiente.
- Referente al tipo de tenencia, el 76.6% de las viviendas del barrio elegido y el 54.5% del barrio control es propia con escritura.

#### Agua y saneamiento y otros servicios

- La mayor parte de las viviendas de los barrios elegido y control se abastecen con agua procedente de la tubería pública. El resto que es una minoría de las viviendas se abastecen de pozo o agua comprada.
- En cuanto a las frecuencias con la que reciben el agua, estas familias en su mayoría reciben agua solo unos días a la semana, por lo que tienen que tener opciones para almacenar el agua.
- Tanto en la colonia elegida como en la colonia control, la mayoría de los habitantes utiliza el servicio de recolección de basura.
- En los dos barrios en estudio cuentan con algún tipo de telefonía, proveniente de distintos proveedores.
- En el barrio elegido, como en el barrio control, uno de los principales problemas que se presentan en ellas es la necesidad de mejorar las vías de acceso vehicular y/o peatonal asfaltado.
- Ambas zonas priorizaran como servicios que requieren mejoras en su orden: El servicio de agua potable, sistemas de drenajes y alcantarillado sanitario y, mejoramiento de vías de acceso.
- El tiempo referido por los entrevistados de ambas zonas para acceder a la unidad de salud, a los centros educativos, a la posta de policía, servicio de suministros (mercado) y estación de buses, casi en su mayoría es menor a los 20 minutos, pudiendo llegar a ellos caminando y por lo tanto no involucra costos realizarlo
- La incidencia de enfermedades diarreicas, respiratoria y dengue en las dos semanas previas al estudio son bajas y pueden estar relacionadas con los valores encontrados de suministro de agua y saneamiento básico con cuentan ambas zonas estudiadas.

#### Criminalidad y violencia

- El índice de criminalidad encontrado en la barrio elegido y control es bajo, pero esto puede ser el resultado de la resistencia de los entrevistados a dar información completa.
- Más del 50% de los jóvenes (6 a 18 años), según los entrevistados permanecen en sus casas durante el tiempo libre
- En ambas zonas no existen lugares de recreación en los cuales los niños y jóvenes puedan divertirse.

#### Organización y capacitación

- Un bajo porcentaje de los entrevistados refirieron pertenecer a una organización comunitaria o de participan en las actividades, que dichas organizaciones programan.

- A nivel organizativo en ambas colonias ha existido poca capacitación, que permita ir potenciado los liderazgos locales. En ese sentido ‘pocos de los líderes actuales o pobladores se han capacitado en formulación, ejecución y evaluación de proyectos, mantenimiento preventivo de obras y cumplimiento de normas urbanísticas, prevención de crimen y violencia.
- Las valoraciones que los pobladores hacen sobre el nivel de actividad y el liderazgo son altas, sin embargo, su nivel de ejecución es bajo.

#### Recomendaciones:

- Tomando en cuenta los resultados generados en el presente estudio respecto de las condiciones de vida de los hogares del “barrio elegido” y, “barrio control” del municipio de Danlí, se recomienda que el Proyecto Barrio Ciudad focalice sus inversiones e intervenciones a las necesidades y características propias de la población y de su dinámica de vida comunitaria, mostradas en el presente estudio de línea de base, a fin de garantizar el impacto y los cambios de vida esperados en la población.
- Como la mayor parte de los pobladores del barrio elegido son personas jóvenes, el proyecto barrio ciudad debe considerar el trabajo que se haga con ellos.
- En ambos barrios existe mucha población, con un nivel educativo básico, por lo que se recomienda considerar esta situación, para nivelar su estatus.
- En materia de agua y saneamiento, es recomendable revisar técnicamente la situación del sistema de alcantarillado para aguas negras, por un lado su funcionamiento y por otro, la factibilidad de incorporación de las viviendas que no tienen este servicio.
- Las dos poblaciones en estudio requieren del sistema de alcantarillado de aguas lluvias.
- Las condiciones de vías de acceso requieren de mejoras en vista de que la mayoría son de tierra y en época de lluvia algunos tramos se vuelven intransitables.
- Dado el tipo de población, y el carácter de los barrios “urbanos” se deben establecer proyectos de construcción de áreas de recreación adecuadas para beneficio de la población joven en particular y de la población en general.
- Será necesario considerar que para el éxito del proyecto de barrio ciudad, se hace necesario considerar el fortalecimiento de organizaciones comunitarias a través de procesos organizativos, de capacitación, participativos a fin de promover una vida comunitaria organizada y comprometida con el desarrollo y su calidad de vida.

#### **Literatura citada**

FHIS Informe Final (Agosto 2011, Tegucigalpa Honduras). Fondo Hondureño de Inversión Social. Levantamiento de Línea de Base del municipio de Danlí, en las colonias Santo Domingo denominado Barrio Elegido y la Colonia Vista Hermosa denominada Barrio Control. Ambas colonias consideradas relevantes una para ejecutar directamente las acciones del Proyecto Barrio Ciudad del Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS) y Banco Mundial. Tegucigalpa, Honduras.



## **ANÁLISIS DE PROCESOS DE PÉRDIDAS DE ESPECIES NATIVAS EN ZONA DE AMORTIGUAMIENTO DE ZONA SUR DEL ÁREA PROTEGIDA DE MONTAÑA DE BOTADEROS, OLANCHO, HONDURAS**

Yessica Sosa<sup>(1)</sup>

(1) Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio, organizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) de España.

### **Resumen**

El siguiente proyecto de análisis de procesos de pérdidas de especies nativas en zona de amortiguamiento de la zona sur del área protegida de Montaña de Botaderos, Olancho, basado en un análisis a través de sensores remotos y la utilización de Sistemas de Información Geográfica, tiene como propósito dar a conocer como se pierden algunas especies nativas de flora y fauna se pierden a causa de la deforestación, en especial caso de las zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas. Con el fin de aplicar técnicas de mejoramiento de los recursos naturales como una medida de ordenamiento territorial.

Resultados esperados: (1) Análisis de imágenes satelitales y validación de campo de pérdidas de especies nativas de flora y fauna en un periodo de 20 años contado a partir del año presente.

(2) Aplicación de un sistema de información geográfica para el análisis y procesamiento de la información espacial.

Divulgación y apropiación de resultados. Esta información será transmitida a miembros de comunidades aledañas a las zonas de amortiguamiento de la zona sur del área protegida de Montaña de Botaderos, miembros de la Región de la zona de Olancho del Instituto de Conservación Forestal, Municipalidad de Gualaco y San Esteban, Olancho.

Riesgos y Obstáculos: Formas de Superarlos. El único riesgo que se puede existir que no se encuentre la información de pérdida de especies comprendidos en los años establecidos de ser así se modificara la investigación a los datos encontrados.

### **Antecedentes generales**

El deterioro de la cobertura boscosa exponiendo la capa de produce la simplificación y fragmentación de la estructura del paisaje. Estos cambios crean barreras de dispersión para muchas especies, poniendo en peligro su persistencia, en Honduras la tala de deforestación es cada vez más cobra la perdida millonaria tanto de especies maderables como no maderables, fauna y flora que son de mucha importancia máxime en lugares como en las áreas protegidas el cual uno de los fines de protección es precisamente la conservación de especies de flora y fauna.

Con esta investigación se pretende que el departamento de ciencia y tecnología de la información geográfica como una entidad multidisciplinaria contribuya a dar énfasis a través de sus clases de pregrado y posgrado las alternativas de uso y buen manejo de los recursos forestales con la aplicación de herramientas de sistemas de información geográfica, percepción remota y sistemas de Geoposicionamiento global.

### **Justificación de la investigación**

Honduras posee un territorio con una superficie de 112.492 km<sup>2</sup>, el 25 por ciento de la cual está cubierta con bosques de pino y el 26 por ciento con bosques Latifoliados. La distribución boscosa en nuestro país hoy en día es de 57% de Bosque Latifoliado (3,747,913, ha.), 38% de Bosque de Coníferas (2,579,153 ha.), 2% del Bosque Mixto (115,313 ha), 2% de Bosque de Mangle (130,894 ha) y 1% de bosque seco (25,017 ha) día a día las condiciones de uso de los recursos forestales se ven manchados por la falta o no aplicación de políticas que ayuden a



hacer buen uso y equitativo de los recursos naturales por lo que se pretende en esta investigación analizar las pérdidas de especies nativas de flora y fauna de la zona de amortiguamiento de la Montaña de Botaderos en su zona sur.

El uso de las tecnología hoy en día trae la innovación de hacer en menos tiempo y mas precisos los trabajos investigativos y con el fin de hacer demostraciones de un manejo de los Recursos Naturales aplicando Sistemas de Información Geográfica que nos ayude a analizar estos procesos investigativos.

Los productos obtenidos en esta investigación servirán para muchos estudiantes de las carreras de Biología, Forestal, Agronomía y otros que se interesen en el manejo, sostenibilidad y buen uso de los recursos naturales.

### **Definición del problema**

En la actualidad no se ha hecho una concientización sobre la perdida de nuestros recursos naturales, lo que este problema conlleva a malas prácticas de cultivos, en donde estos no son ni los adecuados ni prósperos de un lugar determinado, lo que ayuda a que la inseguridad alimentaria sea cada vez peor.

Existe muchas políticas y leyes que regulan y restringen el manejo adecuado de los bosque en Honduras pero difícilmente estos no son aplicados por diferentes causas y en donde los más desprotegidos son los campesinos que viven en las zonas aledañas al lugar. Con este estudio se pretende dar una pauta que ayude a mejorar no solamente las condiciones de las personas que viven allí sino también la convivencia entre el resto de las especies de flora y fauna que sea manejado de una manera adecuada y sostenible.

### **Objetivos**

Objetivo General: Hacer un análisis de pérdida de especies nativas de flora y fauna basado en un proceso de análisis de imágenes satelitales con el fin de conocer las causas y aplicar una metodología que ayude a mitigar estas pérdidas ocasionadas por la deforestación.

#### Objetivos Específicos:

- 1) Utilización de un Sistema de Información Geográfica que ayude a analizar y procesar la información extraída de las imágenes satelitales y de campo.
- 2) Mejorar las condiciones de uso de las coberturas forestales mediante la aplicación de un SIG
- 3) Contribución a la reducción de estas especies nativas mediante la implementación de una técnica de manejo de los recursos naturales en áreas de zonas de amortiguamientos de parques nacionales.

### **Hipótesis**

Anteriormente se hacían estudios empíricos en donde no se determinaba espacialmente el daño ocasionado por diferentes causas de la cobertura boscosa, hoy en día el uso de las tecnologías ha venido a innovar y poder desarrollar mejor las tareas de trabajos encomendados y en donde se pueden establecer directrices de un ordenamiento territorial adecuado, con la implementación de sistemas de información geográfica y sensores remotos se espera mostrar con más detalle estos cambios. Y que esto además contribuya a tomadores de decisiones a hacer mejores prácticas de manejo de los recursos naturales.

### **Marco teórico**

Para poder desarrollar las actividades previstas en este documento se espera que se utilicen diferentes metodologías que ayuden con los resultados de la investigación tal es el caso del uso de la Teledetección que con el manejo de imágenes satelitales permita el análisis en un periodo

de tiempo dado en este proyecto y con la incorporación de conocimientos por los ciudadanos de las comunidades aledañas al lugar de la investigación, así de igual manera la implementación de algunas leyes, que contribuyan al mejoramiento del manejo de los Recursos Naturales. A continuación se detallan algunos conceptos para la implementación de esta actividad dentro de la investigación:

Ley Forestal Áreas Protegidas y Vida Silvestre: La presente Ley establece el régimen legal a que se sujetará la administración y manejo de los Recursos Forestales, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, incluyendo su protección, restauración, aprovechamiento, conservación y fomento, propiciando el desarrollo sostenible, de acuerdo con el interés social, económico, ambiental y cultural del país.

**ARTÍCULO 108.- INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN BIODIVERSIDAD.** Corresponde al Sistema de Investigación Nacional Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (SINFOR), desarrollar, reglamentar y supervisar las investigaciones científicas y aplicadas, que se realicen en áreas protegidas o sobre la biodiversidad de las mismas, teniendo en cuenta las categorías de manejo y debiendo respetar las prácticas tradicionales y culturales de las comunidades locales.

Ordenamiento Territorial: La expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad". Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política con un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector. (Carta Europea de Ordenamiento Territorial, 1983).

Sistema de Información Geográfica (SIG): Un SIG es un intento más o menos logrado según los casos de constituir una visión esquemática de una realidad compleja (BOSQUE, 1994)

Teledetección: Técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. (Chuvieco, Emilio 2002)

## Metodología

En el siguiente proyecto se pretende mostrar mediante la implementación de herramientas mediante sensores remotos el uso de Sistemas de Información Geográfica y estudio de campo para conocer sobre la pérdida de especies nativas a causas de la deforestación.

Como primer paso se pretende hacer la adquisición de imágenes satelitales de la zona y en los años comprendidos entre 1991 a 2011.

Gira de campo para comprobar la pérdida de cobertura Boscosa y análisis mediante un muestreo que indique las especies perdidas.

Implementación de un sistema de información geográfica que ayude a digitalizar las imágenes satelitales y se analice los cambios ocurridos en la cobertura boscosa.

## Actividades

Actividades
Recolección de Imágenes Satelitales LANSAT 7 de los años comprendidos entre 1998 al 2011
Validación en campo de la información satelital
Digitalización de las zonas afectadas
Análisis de información
Levantamiento de encuestas a pobladores para conocer que tipo de especies perdidas
Análisis y procesamiento de la información
Revisión de Proyecto de Investigación
Publicación de Proyecto

Se realizarán monitoreo de la cobertura vegetal y la pérdida de biodiversidad, mediante la utilización de información satelital y terrestre. Se utilizaron imágenes LANDSAT7 para el período 1997-2010 y para el análisis temporal del cambio de uso de la tierra será utilizado el programa **ERDAS Imagine 9.1** y ArcGis para el Procesamiento y análisis de la Información. Se realizarán observaciones geo-referenciadas de campo, documentando con fotografías el estado actual de la cobertura vegetal. Se realizarán encuestas y entrevistas semi-estructuradas a miembros de las comunidades para conocer los usos de las especies nativas del bosque y evaluar sus apreciaciones respecto a la abundancia de dichas especies.

#### Obtención de Imágenes satelitales de la Zona de estudio LANDSAT 7

En este proceso se entrará a la página oficial de LANDSAT para la obtención de las imágenes satelitales correspondientes a la zona y del periodo de 1998 al 2011, se pretende en ese periodo debido a que las causas de la deforestación no son únicamente causados por el hombre sino que también por condiciones ambientales.

#### Comprobación de Campo y encuesta a pobladores de la zona

En esta actividad se pretende que los pobladores de la zona que han sido los que mayormente han convivido con esa naturales conocen y pueden apreciar que especies se han ido perdiendo con el tiempo y cuál ha sido la causa de estas pérdidas.

#### Análisis con sensores remotos

Que demuestran los cambios que se han presentado durante el periodo de 1998 al 2011 en el que resalte las pérdidas de especies de flora y fauna.

#### Elaboración de Mapas del Área de Estudio

Con la incorporación de un Sistema de Información Geográfica se pretende visualizar las diferencias de pérdidas de la cobertura, evidenciado así los cambios ocurridos en la zona de estudio.

#### Elaboración y entrega de Informes

Se elaborarán y entregará un informe cada tres meses al final del periodo de la investigación se elaborará un proyecto final presentados los resultados de la investigación, estos informes serán presentados a la UNAH, Municipalidades de San Esteban y Gualaco, Encargados del ICF, y Miembros de las comunidades aledañas, con el fin de que conozca y se concientice sobre las diferentes causas que mediante la actividad de tala de bosque se pierden algunas especies que son de intereses de la comunidad, municipio y el estado.

Posteriormente se publicará en la Dirección de Investigación Científica de la UNAH y en la Revista Primavera-Otoño de la Facultad de Ciencias Espaciales.

### **Literatura citada**

- ANUARIO ESTADÍSTICO FORESTAL. 2011. Vol. 25 Año 25 marzo, 2011
- BOSQUE SENDRA, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid, Ed. Rialp
- EMILIO CHUVIECO, (2002) Teledetección Ambiental, Ed. Ariel Ciencia
- FAO. Deposito de documentos de la FAO Evaluación de productos forestales no madereros  
<http://www.fao.org/docrep/007/ae159s/AE159S09.htm>
- VALLEJO-LARIOS M. 2011. Informe de Evaluación Preliminar sobre Causas de Deforestación y Degradación de Bosques en Honduras.

## **ANALISIS DE LA POTENCIALIDAD DE SISTEMAS ACTIVOS SAR PARA LA DETECCION DE VERTIDOS DE PETROLEO EN EL MAR**

Gissell Alicia Irías Álvarez <sup>(1)</sup>

(1) Maestría de Ordenamiento y Gestión del Territorio, organizada por la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Universidad de Alcalá (UAH) de España. [aliciairias@yahoo.es](mailto:aliciairias@yahoo.es)

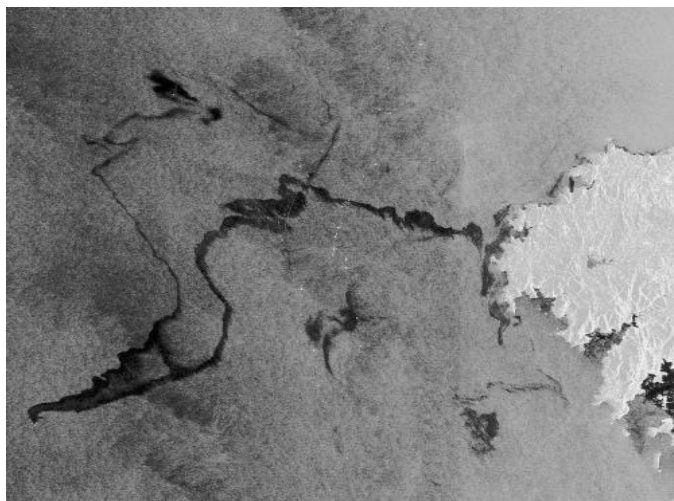
### **Resumen**

Este artículo trata de dos diferentes proyectos como los Resultados de RAPSODI (Teledetección Anti-contaminación del Sistema de Integración de datos Geográficos), y la utilización de una máquina de vectores soporte (SVM) para la detección de vertidos en áreas oceánicas y falsas alarmas con imágenes SAR. Los objetivos de los sistemas son la detección de la contaminación marina tanto accidental como voluntaria mediante sistemas de sistemas anti-contaminación aerotransportado o sistemas de automáticos o semiautomáticos.

**Palabras Claves:** Vertidos, Teledetección, Sensor SAR, Contaminación, máquina de vectores soporte (SVM)

### **Introducción**

La contaminación relacionada con el transporte marítimo representa una gran preocupación ya que es una seria amenaza para los ecosistemas marinos, este problema se agrava especialmente en zonas costeras con alto tráfico marítimo. Es por eso que se tiene que prestar especial a los vertidos de petróleo como otras cargas peligrosas, un ejemplo emblemático de vertido accidental es la tragedia de Prestige en noviembre de 2002, un ejemplo de falsa alarma es la confusión de la variación local del viento o como afloramientos o estuarios con elevada descarga fluvial. Usándose diferentes sensores remotos tanto a bordo de satélites siendo las imágenes más utilizadas (SAR), como aerotransportados (Brekke y Solberg, 2005).



**Imagen de satélite ENVISAT de las manchas producidas por el accidente del petróleo Pretige en las Costas de Galicia**

Los sensores SAR (Synthetic Aperture Radar) [1], contribuyen complementariamente aunque diversos aspectos limitan su operatividad, el uso de un sensor no garantiza una correcta monitorización de la contaminación marina.

Este artículo presenta los resultados del Proyecto RAPSODI, que centra en un nuevo sistema de Teledetección para monitoreo de la contaminación, también presenta el trabajo de un

algoritmo clasificador basado en una maquina de vectores soporte (SVM) que permite discriminar los vertidos de otros fenómenos con una señal similar.

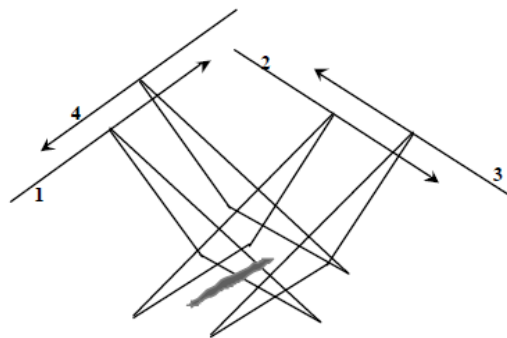
### **Proyecto RAPSODI**

El Proyecto RAPSODI, en primer lugar realiza una campaña experimental a tamaño real, en segundo lugar el procesamiento de los datos obtenidos durante la campaña y finalmente los procesos utilizados para la detección de contorno de los vertidos.

### **Campaña experimental de RAPSODI**

Uno de los objetivos del proyecto fue realizar un experimento a tamaño real. Durante el mes de mayo del 2001, se realizaron dos vertidos deliberados de petróleo en el Océano Atlántico. El experimento su controlado por la Marina Francesa. Tres barcos (equipo de bombeo, rociador de dispersante, toma de muestra), dos aviones y un helicóptero realizaron medidas de seguridad, los datos atmosféricos fueron medidos por una boya. Se realizaron muestreo de las capas de agua, obteniendo parámetro de contenido de viscosidad del agua, densidad, evaporación, medición de datos atmosféricos.

La estrategia de adquisición de los datos se baso en 4 pases sobre cada mancha, en direcciones perpendiculares con el fin de maximiza la información de los datos [2,3]. Un avión Mystere-20 del Centro de Testeo de Vuelo Francés, que estaba equipado con el radar de banda X (3.75-2.4 cm de long. de onda) de Thales Ocean Master, sobrevoló el área.



**Estrategia de adquisición de los datos SAR**

### **Proceso de datos SAR**

Los datos SAR fueron procesados en el Instituto de Geomática. Los datos SAR recogidos durante el experimento fueron procesados en el Instituto de Geomática. El proceso incluyó métodos para la compensación del movimiento basado en datos de navegación GPS/INS [4]. Las imágenes fueron georeferenciadas mediante los datos de navegación.

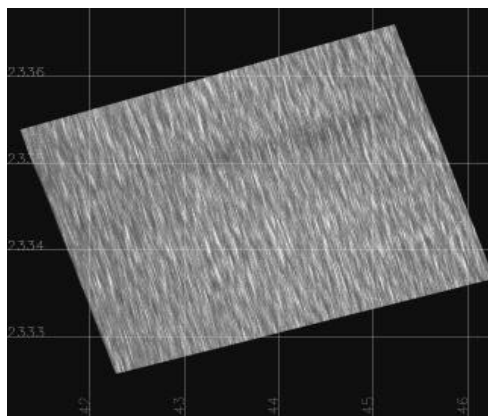


Imagen SAR de la campaña de RAPSODI georeferenciada, cubriendo una mancha de petróleo.

Durante el proyecto fueron tomadas 30 imágenes que posteriormente fueron analizadas en el Joint Research Centre para desarrollar algoritmos apropiados para la detección de los vertidos [5]. Las imágenes fueron captadas con un ángulo de incidencia de 80° (En principio, es preferible que el ángulo de incidencia sea menor para aumentar el contraste de la mancha de petróleo en diferentes estados del mar)[6].

#### Detección de Manchas de Petróleo

Uno de los objetivos del Proyecto RAPSODI es la detección automática de los petróleos y la extracción del contorno de las manchas de las imágenes adquiridas por el Sistema [7]. Para el funcionamiento operativo del sistema, dichos vertidos se requieren sean reconocidos de manera automática. La extracción del contorno de las manchas representa una dificultad a causa de las características de las imágenes SAR. Durante el proyecto RAPSODI, se desarrolló un filtro direccional y espectral, adaptativo para imágenes aerotransportada SAR.

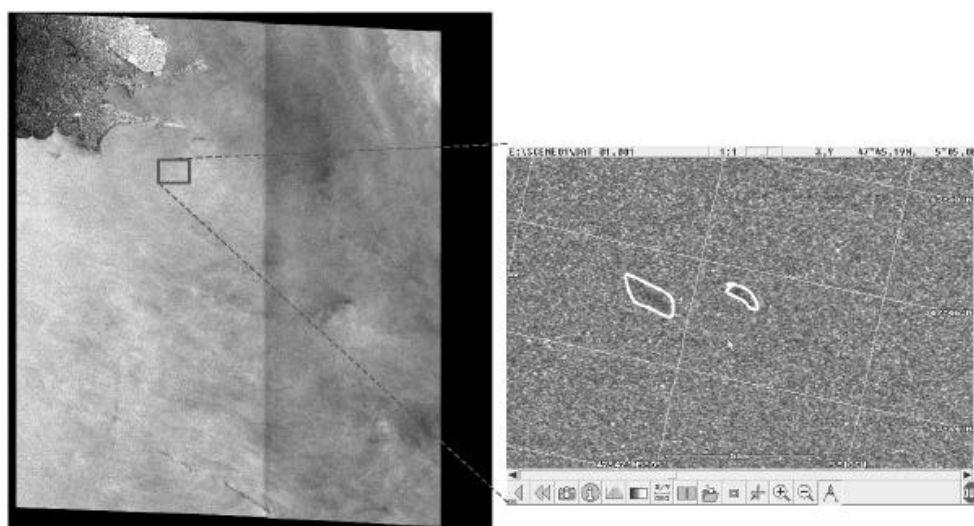
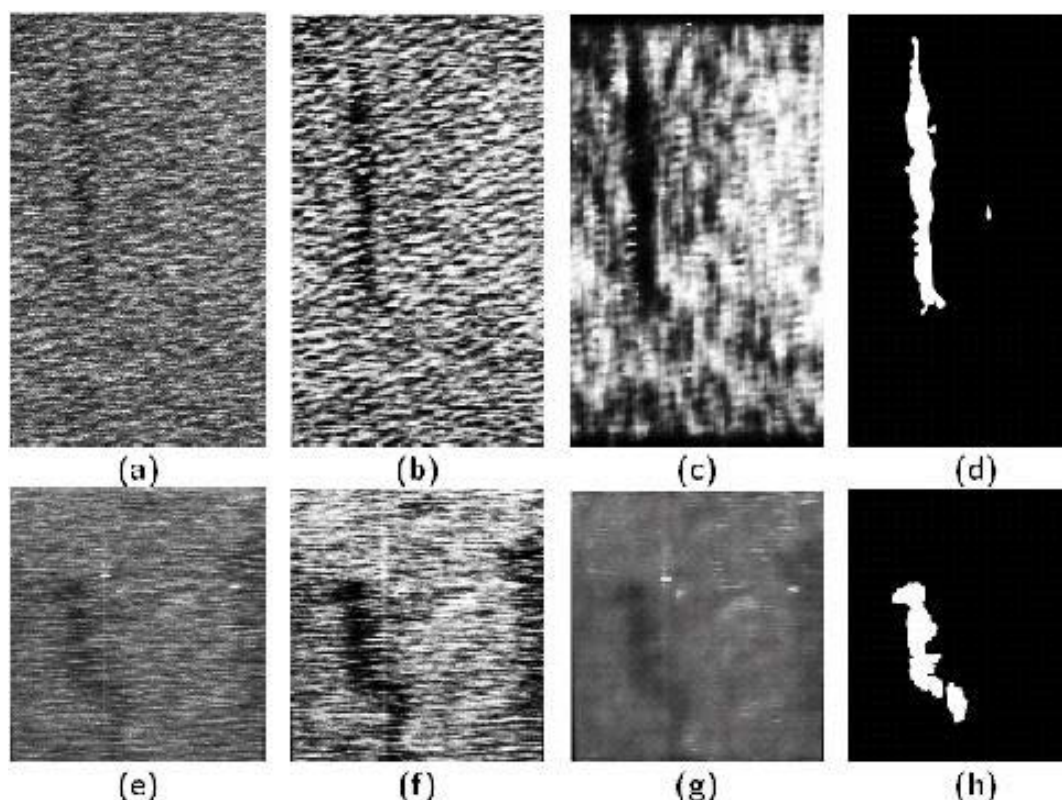


Imagen del RADARSAT adquirida durante la campaña experimental de RAPSODI. Órbita 28865 descendente, el día 16.05.2001, a las 06:02.

Las Imágenes tomadas durante el experimento poseen características particulares puesto que fueron adquiridas con un alto ángulo de incidencia, estas imágenes se muestran altamente degradadas por la estructura dinámica y periódica de superficie terrestre del mar.





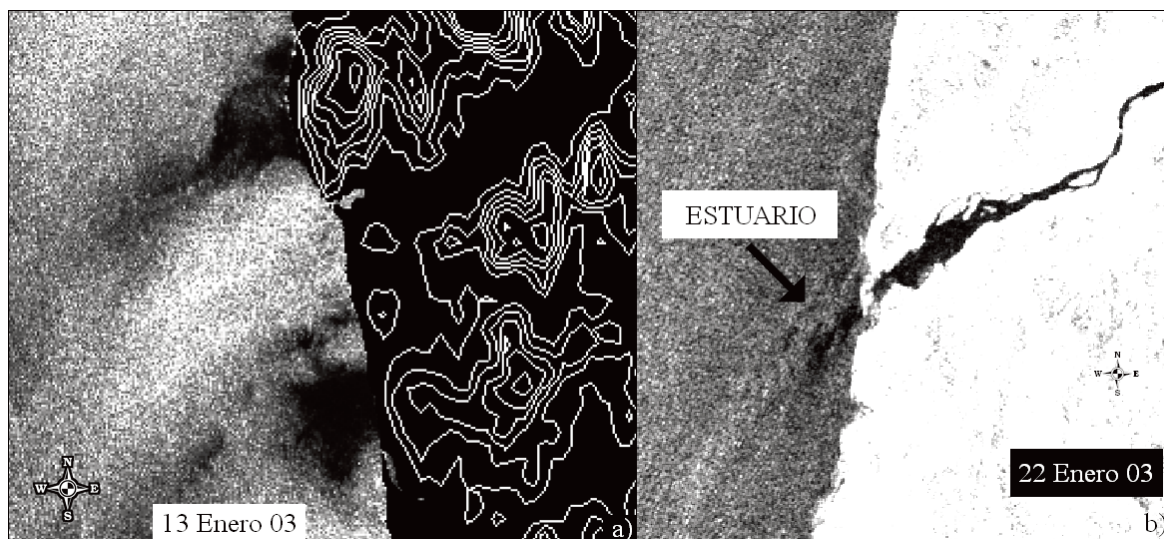
Detección de manchas de petróleo y extracción de su contorno en unas imágenes SAR aerotransportadas de la campaña de RAPSODI del día 15.05.2002, a las 13:54, y del día 16.05.2001 a las 13:51. Imagen SAR original (a) y (e); imagen filtrada con un filtro clásico (b) y (f); imagen filtrada con un filtro adaptativo (c) y (g); imagen binaria final obtenida a partir de un umbral aplicado a la imagen anterior (d) y (h).

### Discriminación de Vertidos de Petróleo utilizando una maquina de Vectores Soporte

La detección de los vertidos es muy importante para planificar las medidas para reducir los impactos, los principales sensores utilizados son SAR de banda C ( $\lambda = 7.5-3.75$  cm) esta permite discriminar a mayores velocidades de viento de hasta 13m/s (Pavlakakis et al., 1996), con una ángulo de incidencia de 15° y 49°, con polarización VV. Los derrames de petróleo presentan una mayor viscosidad que el agua de mar, lo que provoca una menor rugosidad, por lo que la intensidad de la señal hacia el sensor es menor y los vertidos aparecen en las imágenes SAR [8].

### Fuentes de Datos

Para el diseño, entrenamiento y validación del algoritmo de clasificación se utilizaron 26 imágenes ASAR adquiridas durante la catástrofe del Pretige [8]. Estas imágenes se caracterizan por una gran cantidad de manchas de petróleo, también muestran signatures similares a la de los vertidos, es decir, áreas que se ven como zonas más oscuras debido a la baja retro-dispersión.



Ejemplos de firmas similares a vertidos que pueden causar falsas alarmas. a) Fragmento de la imagen del 13 de enero del 2003 mostrando zonas de bajo viento debidas a topografía costera b) Fragmento de la imagen del 22 de Enero del 2003, mostrando una mancha originada en un estuario

Además de las Imágenes ASAR se utilizaron datos de observación directa obtenidos desde barco, avión o helicópteros, también se obtuvieron los campos de viento derivados del escaterómetro.

### Metodología

La mayoría de los sistemas automáticos de detección de vertidos a partir de imágenes SAR constan de tres etapas (Solberg et al., 1999; Del Frate et al., 2000; Fiscella et al., 2000; Solberg et al., 2004; Bertacca et al., 2005; Keramitsoglou et al., 2006; Solberg et al., 2007; Brekke y Solberg, 2008; Topouzelis et al., 2009 [9]): Segmentación, caracterización y aplicación de un clasificador.

La segmentación (identificación de la signatura en la imagen), se realiza mediante un proceso de umbralización, realizándose un pre-proceso de georeferenciación realizada en base al documento técnico publicado por la ESA [10]. La caracterización se realizó mediante un algoritmo de etiquetado que permite la identificación de componentes conectados en mascara binarias (Martín-Herrero, 2004, 2007 [11]). Se extrajo el tamaño, localización, características geométricas y radiométricas.

### Clasificación

La clasificación se realiza para vertidos y falsas alarmas, para poder entrenar y validar el clasificador fue necesario un conjunto de firmas se tenia que conocer de antemano si son vertido o no. Se asignó una categoría para cada imagen en función de la probabilidad de ser un vertido. En la implementación del algoritmo se utilizaron características geométricas y radiométricas.

### Maquina de vectores soporte

La maquina de vector soporte (SVM) fue el algoritmo elegido para desarrollar el clasificador. Los SVM son algoritmos de aprendizaje que se basan en el clasificador lineal, el cual busca un hiperplano óptimo que nos permita separar dos clases (vertidos y falsas alarmas). La función kernel permite transformar los datos de entrada en ese espacio de características.



## **Resultados**

Se observó que el algoritmo con solamente parámetros radiométricos es el que clasifica correctamente el mayor porcentaje de vertidos verificados (98.1%), además mantiene el nivel de acierto con las falsas alarmas (98.1%).

La introducción de las características geométricas no supone en principio ninguna mejora con respecto al clasificador utilizado solamente características geométricas. Sin embargo el algoritmo consigue el máximo de falsas alarmas verificadas clasificadas (99.3%), aunque decaiga levemente con respecto a los vertidos (92.6%)

## **Conclusiones**

En este artículo podemos identificar dos proyectos distintos en los que tienen como objetivo la detección automática de manchas en el mar.

Por lo que ambos proyectos poseen una gran cantidad de datos experimentales.

Estos dos proyectos nos recalcan que siempre es requerido realizar un pre-proceso de georeferenciación paso fundamental para garantizar una correcta utilización de los datos, para la detección de las manchas se desarrollaron algoritmos específicos para la extracción automática de manchas en imágenes SAR.

El clasificador SVM basado en características radiométricas podría ser aplicado en a otras zonas utilizando el mismo tipo de imágenes. En cuanto a las características geométricas son más útiles para identificar falsas alarmas en una zona geográfica concreta.

## **Literatura citada**

- [1]. GIRIN M, CALABRESI G, LICHTENEGGER J, PETROCCHI A, FEBVRE A, LECAT C. 1999. Oil spill monitoring by satellite: the ways towards making a reality out of dream. International oil spill conference, Seattle, pp. 919-925.
- [2]. LONG MW. 1983. Radar Reflectivity of Land and Sea. Artech House Inc.
- [3]. DALEY JC, DAVIS WT, MILLS NR. 1970. Radar Sea Return in High Sea States, Naval Research Laboratory (USA), Report No. 7142.
- [4]. STEVENS D, CUMMING I, GRAY A. 1995. Options for Airborne Interferometric SAR Motion Compensation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 33, No.2, pp. 409-419.
- [6]. PAVLAKIS P, SIEBER AJ, ALEXANDRY S. 1996. On the Optimization of Spaceborne SAR Capacity in Oil Spill Detection and the Related Hydrodynamic Phenomena. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 3, pp. 33-40.
- [7]. BIESCA E., Instituto de Geomática de Castelldefels, Joint Research center, Thales Air, CEDRE,. Un sistema aerotransportado para la detección y el control de manchas de petróleo.
- [8]. GONZALEZ L., TORRES JM, YAROVENKO N, MARTÍN J. 2010, Discriminación automática de vertidos hidrocarburos a partir de imágenes ASAR utilizando una maquina de vectores soporte (SVM)
- [9]. SOLBERG AHS, STORVIK G, SOLBER R, VOLDEN E. 1999. Automatic detection of oil spills in ERS SAR images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 37 (4): 1916–1924.
- DEL FRATE, F., PETROCCHI, A., LICHTENEGGER, J. & CALABRESI, G. 2000. Neural networks for oil spill detection using ERSSAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 38 (5): 2282–2287.
- FISCELLA B, GIANCASPRO A, NIRCHIO F, PAVESE P, TRIVERO P. 2000. Oil spill detection using marine SAR images. International Journal of Remote Sensing. 18:3561–3566.
- BERTACCA M, BERIZZI F, MESE ED. 2005. A FARIMA-based technique for oil slick and low-wind areas discrimination in sea SAR imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 43 (11): 2484–2493.
- KERAMITSOGLOU I, CARTALIS C, KIRANOUDIS CT. 2006. Automatic identification of oil spills on satellite images. Environmental Modelling & Software. 21 (5): 640–652.
- BREKKE C, SOLBERG AHS. 2008. Classifiers and confidence estimation for oil spill detection in ENVISAT ASAR images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 5(1): 65–69.
- TOPOUZELIS KN. 2008. Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms. Sensors. 8(10): 6642–6659

- [10]. ROSICH B, MEADOWS P. 2004 Absolute calibration of ASAR Level 1 products. ESA/ESRIN, ENVI-CLVL-EOPG-TN-03-0010, Issue 1, Revision 5, October 2004.
- [11]. MARTÍN-HERRERO J. 2004. Hybrid cluster identification. Journal of Physics A: Mathematical and General. 37: 9377–9386.

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL VALLE DE JESÚS DE OTORO ENTRE LOS AÑOS 2000-2006. APLICANDO TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

Alexis Alejandro Sánchez Ramos<sup>(1)</sup>

(1) Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH, Tegucigalpa, Honduras. v [asanchezhn@yahoo.com.mx](mailto:asanchezhn@yahoo.com.mx)

**Resumen**

El objetivo del estudio, fue un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra, utilizando imágenes satelitales LANDSAT-TM, con resolución de 30 metros, entre los años 2000 y 2006, con un intervalo de 5.92 años. Se definió un sistema de clasificación de coberturas de la tierra con las clases: Bosque latifoliado, Bosque de Coníferas denso, Bosque de Coníferas ralo, Guamiles y/o cafetales, Matorrales y/o Robledales, Pastos-cultivos y/o Arbustos, Urbano y/o suelo desnudo y Cuerpos de agua. Se utilizó el paquete de programa Erdas Imagine 9.1 para procesar las imágenes, mediante el algoritmo ISODATA. Se hizo corrección atmosférica según Raleigh, y georeferenciación para la corrección geométrica. La evaluación del mapa 2006, se realizó mediante Matriz de confusión e Índice de Kappa, obteniendo exactitud de 85% y 81% respectivamente. La Cuenca del Valle Jesús de Otoro mostro una recuperación de las coberturas boscosas con una Tasa Anual de Cambio de +0.65%.

**Palabras Clave:** Teledetección / cobertura de la tierra / análisis multitemporal / tasa anual de cambios.

***MULTITEMPORA ANALYSIS COVERAGE OF THE EARTH EN LA CUENCA DEL VALLE DE JESUS DE OTORO THE YEARS 2000-2006. APPLYING REMOTE SENSING TECHNIQUES***

Alexis Alejandro Sánchez Ramos<sup>(1)</sup>

(1) Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH, Tegucigalpa, Honduras. v [asanchezhn@yahoo.com.mx](mailto:asanchezhn@yahoo.com.mx)

**ABSTRACT**

The aim of this study was a multi-temporal analysis of land cover using LANDSAT-TM satellite images, with resolution of 30 meters, between 2000 and 2006, with an interval of 5.92 years. We defined a classification system of land cover classes: broadleaf forest, dense coniferous forest, sparse coniferous forest, grassland and / or coffee plantations, scrub and / or oak woods, pasture, crops and / or shrubs, Urban and or bare soil and water bodies. We used the software package Erdas Imagine 9.1 for image processing, using the ISODATA algorithm. Atmospheric correction was made by Raleigh, and georeferencing for geometric correction. The evaluation of the 2006 map, was performed using confusion matrix and Kappa index, gaining accuracy of 85% and 81% respectively. Valley Basin Otoro Jesus showed a recovery of forest cover at an annual rate of change of +0.65%.

## Introducción

Los recursos naturales de la Cuenca del Valle Jesús de Otoro han estado sometidos por años a presiones de cambio de uso de la tierra (conversión de tierras de bosque a otros usos), daños provocados por incendios forestales anuales en la parte media y alta, procesos erosivos provocados por la exposición de los suelos de ladera a las lluvias, que contribuyen a la sedimentación y azolvamiento del lecho de los ríos durante la estación lluviosa, daños y pérdidas de cultivos por sequías anuales recurrentes en la época de estiaje. En este contexto el trabajo que se presenta consiste en la realización de un Análisis Multitemporal de la Cobertura de la Tierra en la Cuenca del Valle de Jesús de Otoro, entre los años 2000-2006, mediante la aplicación de técnicas de teledetección con el propósito de conocer la dinámica de esos cambios.

## Ubicación Geográfica del Área de Estudio

En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de la Cuenca del Valle Jesús de Otoro. La cuenca, está ubicada entre las coordenadas geográficas, superior derecha Latitud Norte 14° 47' 14''N y Longitud Oeste 87 ° 48' 36'' W e inferior izquierda Latitud Norte 14 ° 03' 30''N y Longitud Oeste 88 ° 12' 39'' W.

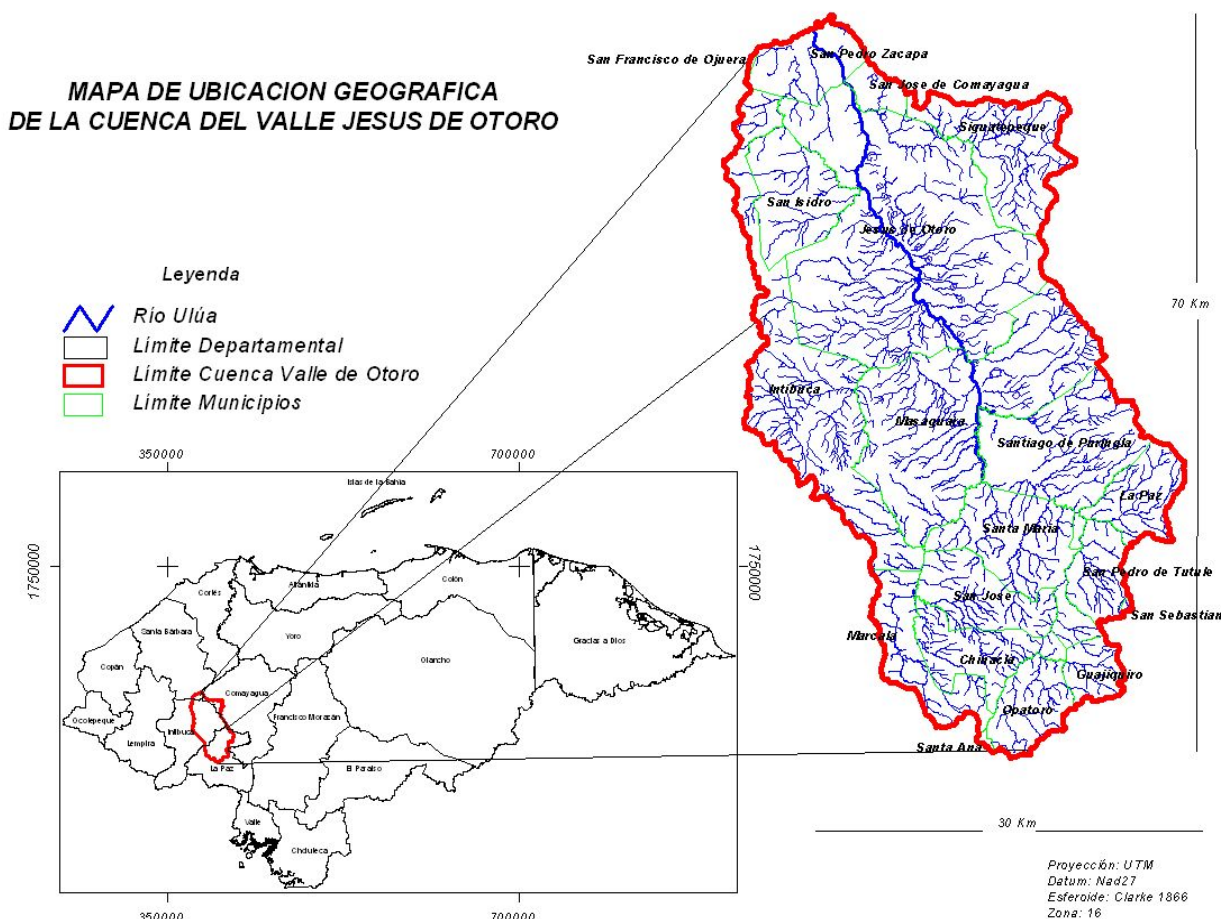


Figura 1. Ubicación de la Cuenca Geográfica del Valle de Jesús de Otoro

Tiene una superficie aproximada de 1,751 km<sup>2</sup>, y está ubicada al Oeste de la meseta de Siguatopeque, en el Departamento de Intibucá, siendo irrigada por el Río Grande de Otoro, uno de los principales afluentes del Río Ulúa. Administrativamente el valle esta compartido por dos municipios Jesús de Otoro y Masaguara.

Existe un vacío de información, cartografía temática, primaria, actualizada, que proporcione a las autoridades de las municipales que conforman la Cuenca del Valle Jesús de Otoro, los elementos de juicio necesarias para la toma de decisiones que permitan promover medidas, y acciones a fin de desarrollar actividades tendientes a hacer manejo sostenible de los recursos naturales remanentes y recuperar los que estén degradados en beneficio de la población que allí habita.

#### Objetivo General

Realizar un Análisis Multitemporal de la cobertura de la tierra, utilizando técnicas de teledetección, aplicadas a imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT-TM, con 30 metros de resolución espacial de los años 2000-2006, para producir información cartográfica primaria, con la finalidad de identificar y cuantificar las diferentes coberturas de la tierra representativas de la Cuenca del Valle de Otoro, y estimar la Tasa Anual de Cambio para el período analizado de 5.92 años.

#### Objetivos Específicos:

- *Elaborar un Sistema de Clasificación por Cobertura de la Tierra y aplicarlo a la Cuenca del Valle Jesús de Otoro.*
- Realizar un Análisis Multitemporal de la Cobertura de la Tierra en la Cuenca del Valle Jesús de Otoro entre los años 2000 y 2006.
- Generar estadísticas correspondientes a las capas temáticas producidas.
- Determinar tasa anual de cambio de la cobertura boscosa en el período analizado.

#### Situación General de la Cuenca del Valle de Jesús de Otoro

A continuación se presenta una descripción de la cuenca del Valle Jesús de Otoro.

##### ➤ Geología

La geología del Valle de Otoro (Vea la Figura 2), está caracterizada por la existencia de aluviones del cuaternario, conformados por sedimentos aluviales que forman terrazas y zonas de inundación con altos contenidos de gravas y cantos rodados (estos sedimentos cubren grandes extensiones del valle pero su espesor es desconocido). La formación geológica predominante en los alrededores corresponden al terciario, compuesto por tobas, ignimbritas, riolitas, andesitas y basaltos del Grupo Padre Miguel (IGN, *et al* 1996).

Los aluviones presentan capas ínter estratificadas de arcilla, arena, grava, bolones y parcialmente cenizas volcánicas (IGN, *et al* 1996).

##### ➤ Suelos

Según Simmons (1978), los suelos de la Cuenca del Valle de Otoro, son superficiales, de textura franco arenosos a franco arcillo-limosos, bien drenados, denominados Salalica, Ojojona, Caray y Milile, propios para vegetación forestal permanente. Los suelos del valle son profundos, fértiles, bien drenados propios para la agricultura y la ganadería (tradicional y tecnificada).

##### ➤ Topografía

El Valle de Otoro es un típico valle inter-montano, ya que está rodeado de montañas de las cuales bajan varios ríos. Tiene morfología plana, con dirección longitudinal Sur-Norte,

correspondiente al curso del Río Grande de Otoro, con orientación hacia el Mar Caribe, (IGN, et al. 1996).

En la Figura 2 se presenta un modelo 3D de la Cuenca del Valle de Otoro.

En su alrededor existen montañas con altitudes de hasta 2000 msnm., las cuales están situadas principalmente al Este (Cordillera de Montecillos) y al Oeste (Cordillera de Opalaca). Las formas topográficas del Valle pueden clasificarse en: zonas montañosas, terrazas de los ríos, y una mezcla compleja de suaves declives y tierras bajas. Existe una diversidad de lomas de más de 700 msnm., las cuales están generalmente extendiéndose hacia las zonas montañosas, con pendientes cada vez mayores. En la zona del valle la altitud varía desde 520 hasta 800 msnm, (JICA, 1994).

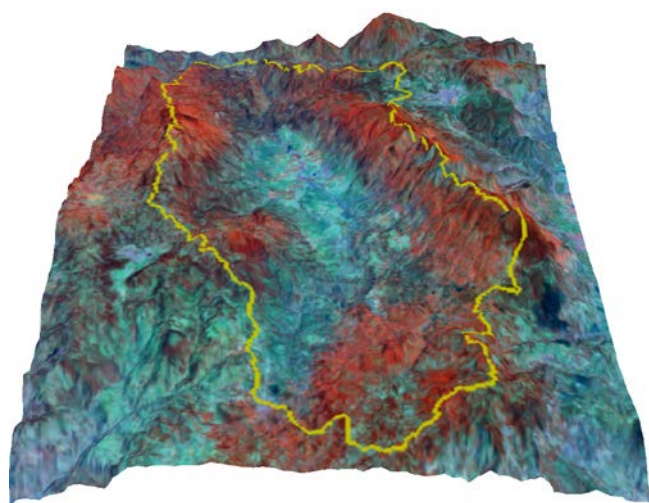


Imagen Landsat-TM, Path 18 Row-50, 29-03-2000

*Esta imagen se generó con la imagen landsat-TM path 18 Row 50 del 29- 03-2002 y el modelo digital del terreno con un tamaño de celda de 50 metros del Unite State Geological Survey, USGS.*

**Figura 2. Cuenca del Valle Jesús de Otoro en Modelo en 3D**

➤ **Clima**

El valle se registra una temperatura promedio de 25.2 °C y una humedad relativa de 76%. La época lluviosa va de mayo a octubre y la época seca de noviembre a abril tiene una precipitación media anual de 1,323 mm, una evaporación anual de 1,951 mm.

➤ **Hidrología**

La Cuenca del Valle Jesús de Otoro cuenta con una variedad de ríos que lo recorren. El cauce principal es el del Río Grande de Otoro, el cual comienza aguas arriba desde la confluencia entre los ríos Zasagua y Puringla hasta la unión con el punto donde recibe el nombre de Río Ulúa aguas abajo, lo que representa un área de cuenca de 733 Km<sup>2</sup>, atravesando el valle de Sur a Norte a lo largo de 41 Km.

➤ **Población**

Según el Censo 2001, del Instituto Nacional de Estadística, la población que habita la Cuenca del Valle Jesús de Otoro (área de estudio) es de 99,484 personas, de las cuales 49,326 (49.6%) son mujeres, 50,158 hombres (50.4%), el 36.71% del total de la población está entre el rango de 0-10 años, el 24.5% entre 11-20 años y el 38.8% mayores de 20 años. El área de estudio está constituida por 19 municipios, 65 aldeas, 505 caseríos.

➤ Agricultura

Los principales cultivos son el arroz, maíz y frijoles. Sin embargo, existen zonas donde se cultivan; maicillo, tomates, chiles dulces, cebollas, sandías, uva entre otros. Además, existen grandes extensiones de pastura y pastizal.

➤ Arqueología

Hoy en día se conocen catorce sitios precolombinos en la Cuenca del Valle de Jesús de Otoro: 8 Monumentos Arqueológicos y 6 Pequeños Monumentos. En general, estos sitios son conservados muy pobremente; el saqueo en las estructuras grandes es común y la mayoría de las estructuras no monumentales fueron destruidas para crear campos de agricultura, (Tockett & McFarlane, 2007).

## **Metodología**

### Definición del Área de Estudio

El área de estudio se delimitó utilizando la técnica de delimitación de cuencas hidrográficas y consistió en identificar los puntos más altos, divisoria o parte agua de los cerros y montañas que circundan el valle.

### Selección de las Imágenes

Las imágenes de satélites fueron seleccionadas, tomando en cuenta un criterio de calidad: i) Cobertura de nubes, que no fuera mayor al 10% de la superficie a estudiar, ii) Fecha, que las imágenes fueran aproximadamente de la misma fecha, iii) El Sensor, se eligió imágenes correspondientes al sensor Landsat 7, que es un sensor multiespectral y posee bandas ubicadas estratégicamente en el espectro electromagnético para el estudio de la vegetación.

### Correcciones Básicas

➤ Correcciones Radiométricas (Atmosférica)

Se realizó la Corrección Atmosférica al Tope de la Atmosfera (TOA) a las imágenes analizar, utilizando la metodología generada por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, proporcionada por la Dra. Haydee Karszenbaum (en la Asignatura Procesamiento e Interpretación Digital de Imágenes, dictada a los Alumnos de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, en el Observatorio Astronómico Centro Americano de Suyapa de la UNAH). Esta metodología consiste en la aplicación de Datos y Fórmulas contenidos en una hoja de cálculo o plantilla del programa Excel y varios modelos generados con el módulo "Modeler" de ERDAS IMAGINE.

➤ Correcciones Geométricas.

Se realizó una georreferenciación, que es el procedimiento mediante el cual se dota de validez cartográfica a una imagen digital corrigiendo geométricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en algún sistema de referencia. (Pinilla, C., 1995). Cabe destacar que aunque las imágenes orinales estaban referenciadas, se tuvo que ajustar un poco la georreferenciación ya que la imagen del 2006 presentaba desfases en la parte sur oeste del área de estudio. Para ello se realizó un correregistro, adoptando la imagen del año 2000 como referencia. Este ajuste se realizó con la herramienta de que dispone el paquete de programas Erdas Imagine, bajo la opción Raster de la ventana de ERDAS, en la opción Geometric correction.

### Procedimiento de Clasificación de las Imágenes

Para la realización de la clasificación de las imágenes satelitales, se utilizó el algoritmo ISODATA del módulo de clasificación del paquete de programa Erdas imagine 9.1, para lo cual se realizaron clasificaciones no supervisadas progresivas. La clasificación se realizó sobre las bandas originales, el criterio empleado para definir los límites entre las clases fue el de *máxima verosimilitud*, en donde los píxeles se asigna a aquella clase con la que posee mayor probabilidad de pertenencia.

#### ➤ Validación de la Clasificación

Con los datos tomados en campo y la clasificación de la imagen del año 2006 finalizada, se procedió a evaluar dicha clasificación mediante la utilización de una Matriz de Confusión y el Índice de Kappa, con la finalidad de determinar la precisión obtenida en la clasificación.

### Análisis Multitemporal

El Análisis Multitemporal de la cobertura y uso de la tierra se realizó mediante la confrontación de los mapas de cobertura de la tierra de los años 2000 y 2006, generados a partir de las imágenes del satélite Landsat7 -TM, path 18 row 50, del 29 de marzo del 2000 y 26 de febrero del 2006 respectivamente, con un intervalo de 5.92 años. El procesamiento digital se realizó con el paquete de Programa Erdas imagine versión 9.1, operando bajo el sistema Window xp. Los procesos de edición y diseño de los mapas se llevaron a cabo con el programa Arcview.

Con el fin de generar la estadística de cambios de la cobertura de la tierra en el Valle Jesús de Otoro, en el período que se analizará, 2000 - 2006, se calculó la Tasa Anual de Cambio (TAC), según fórmula propuesta por FAO, (1996). Para ello se utilizó la cobertura boscosa de ambas fechas al inicio y al final del período.

Como resultado de este proceso se obtuvieron las siguientes dimensiones: una superficie de 1,751 Km<sup>2</sup> aproximadamente, 70 Km. de largo y 30 Km. de ancho.

Dentro del área de estudio quedan comprendidos parcialmente los Departamentos de Comayagua, Intibucá y La Paz. Las ciudades más importantes dentro del área de estudio son: Jesús de Otoro, Masaguara, San Isidro, Chinacla, San José, San Pedro de Tutule, Santa María.

Los principales rasgos que se observan en la zona son: el Río Grande de Otoro, el Río Puringla, el Río Ulúa, la carretera que va de Siguatepeque a la Esperanza pasando por Jesús de Otoro y la planicie o Valle de Otoro.

Basados en experiencia propia y en otros estudios (Chuvieco, 2006), entre 1 y 5 años, es un intervalo suficiente para analizar la dinámica de cambio entre esas coberturas. Para este estudio se utilizaron Imágenes del satélite Landsat 7.

Se aplicó la corrección atmosférica según Rayleigh, para eliminar la dispersión atmosférica que se produce por partículas cuyo tamaño es pequeño en comparación con la longitud de onda de la radiación. Se utilizaron los datos de los datos (metadatos) anexos a los ficheros de la imagen, para abordar las tareas referidas a las correcciones radiométricas.

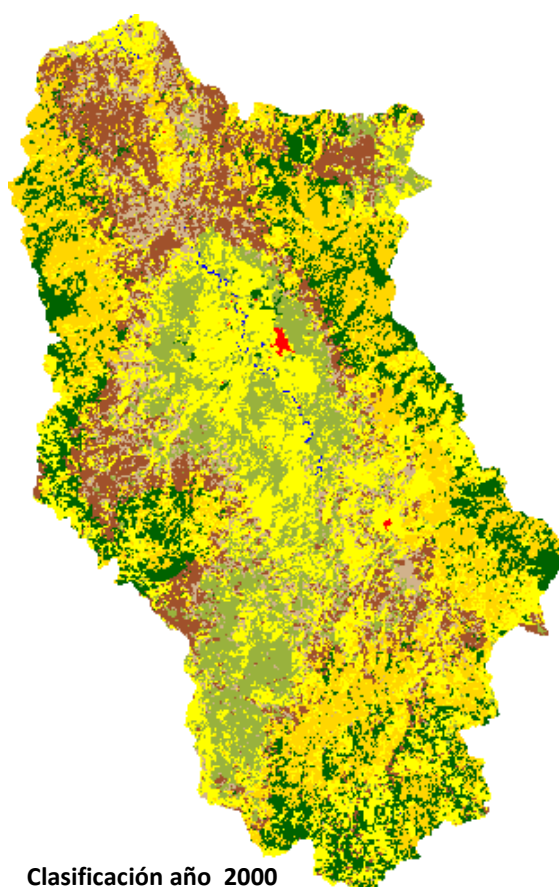
### Clasificaciones resultantes

A continuación en la Figura 3 se muestran las clasificaciones resultantes en este estudio para la Cuenca del Valle Jesús de Otoro con sus respectivas leyendas para las dos fechas estudiadas. En la leyenda podemos observar las superficies correspondientes a cada cobertura o clase. Se muestra en la Tabla 1 la comparación entre las superficies de la cuenca de estudio en ambas fechas.



**Tabla 1. Superficie de las coberturas de la Tierra en la Cuenca del Valle Jesús de Otoro para las dos fechas analizadas**

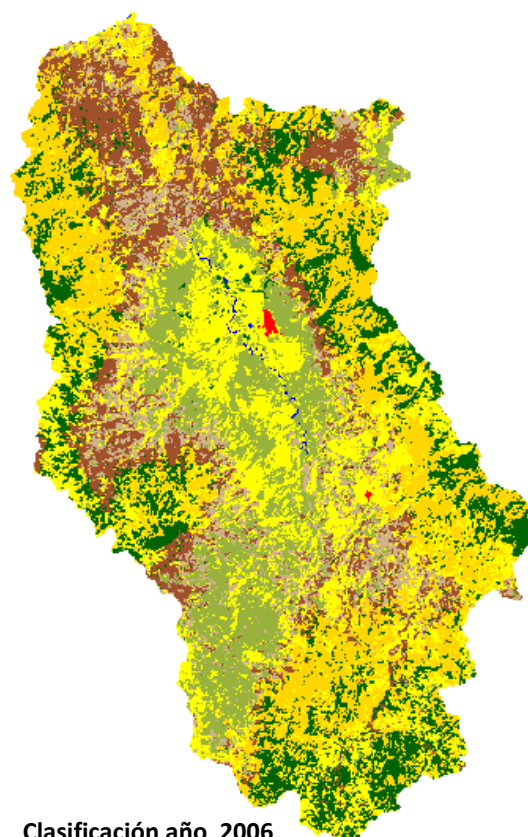
Coberturas	Clasificación año 2000		Clasificación año 2006		Diferencia
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
Bosque latifoliado	23,742	13.53	24,173	13.78	+431
Bosque coníferas denso	24,893	14.19	23,803	13.57	-1,090
Bosque coníferas ralo	13,460	7.67	16,560	9.44	+3,100
Guamiles y/o café	36,988	21.08	39,098	22.28	+2,110
Matorral	22,855	13.03	25,156	14.34	+2,301
Arbustos-pastos y/o cultivos	53,028	30.22	46,211	26.34	-6,817
Urbano y/o suelos desnudos	240	0.14	205	0.12	-35
Cuerpos de agua	224	0.13	224	0.13	0
<b>Totales</b>	<b>175,430</b>	<b>100</b>	<b>175,430</b>	<b>100</b>	<b>00.00</b>



**Clasificación año 2000**

Leyenda

	Bosque latifoliado	23742
	Bosque pino denso	24893
	Bosque pino ralo	13460
	Guamiles y/o plantaciones de caf	36988
	Matorrales/roble	22855
	Vegetación arbustiva, pastos y/o	53028
	Áreas urbanas y/o suelo desnudo	240
	Cuerpos de agua	224



**Clasificación año 2006**

Leyenda

	Bosque latifoliado	24173
	Bosque pino denso	23804
	Bosque pino ralo	16560
	Guamiles y/o plantaciones de caf	39098
	Matorrales/roble	25156
	Vegetación arbustiva, pastos y/o	46212
	Áreas urbanas y/o suelo desnudo	205
	Cuerpos de agua	223

**Figura 3. Clasificaciones resultantes para la Cuenca del Valle Jesús de Otoro con sus respectivas leyendas para las dos fechas estudiadas. Las tablas indican la superficie de las coberturas para las fechas indicadas.**

El Análisis Multitemporal de imágenes de satélite es esencialmente la comparación de dos mapas temáticos de un área determinada en dos o más fechas, con la finalidad de conocer la dinámica de la cobertura de la tierra en el intervalo a estudiar (Tabla 2).

**Tabal 2. Tasa Anual de Cambio para las Coberturas de la Cuenca del Valle Jesús De Otoro**

<b>n=5.92 Coberturas</b>	<b>T1(Año 2000) Superficie en Has</b>	<b>T2(Año 2006) Superficie en Has.</b>	<b>TC (%) Tasa Anual de Cambio</b>
<b>Bosque latifoliado</b>	23,742	24,173	+0.30
<b>B. pino denso</b>	24,893	23,803	-0.75
<b>B. pino ralo</b>	<b>13,460</b>	<b>16,560</b>	<b>+3.56</b>
<b>Guamiles y/o café</b>	36,988	39,098	+0.94
<b>Matorral y/o robledal</b>	<b>22,855</b>	<b>25,156</b>	<b>+1.63</b>
<b>Arbustos-pastos y/o cultivos</b>	53,028	46,211	-2.30
<b>Tasa Anual de Cambio para la cobertura boscosa de la Cuenca</b>			+0.65%

La Tasa anual de Cambio, para las principales coberturas identificadas en la zona de estudio en un intervalo 5.92 años, muestra que hay una tendencia a la recuperación. La cobertura boscosa de la Cuenca del Valle Jesús de Otoro, paso de 62,095 ha (35.4%) a 64,536 has (36.8%), en un intervalo de 5.92 años. La tasa anual de cambio de la cobertura boscosa de la cuenca presentó una tasa anual de cambio positiva de +0.65%, lo que muestra una clara tendencia a la reducción de la deforestación del bosque y una recuperación de la cobertura boscosa de la cuenca. La tasa anual de cambio de la cobertura boscosa para Honduras en los años 1981-1990 fue de -2.1% y entre 1991-1995 fue de -2.2% (<http://www.fao.org/FORESTRY/FAO>).

### Conclusiones y recomendaciones

Mediante el uso de la teledetección hemos podido identificar fisonómicamente las diferentes coberturas de la tierra presentes en la cuenca del Valle Jesús de Otoro. Se pudo estimar la superficie que cubre cada una de ellas, conocer la dinámica de cambio sucedido entre estas y la tasa anual a la que se dieron dichos cambios. La cuenca que cubre una superficie de aproximadamente 175,400 has, sustenta una población de aproximadamente 100,000 habitantes y cualquier cambio que presenten los recursos naturales de la cuenca, tiene algún impacto sobre esta población y sobre las tierras aguas abajo de esta cuenca.

Este estudio ha permitido generar una cartografía temática primaria básica, escala 1:50,000 para la Cuenca del Valle Jesús de Otoro, de cobertura de la tierra del año 2000, un mapa de cobertura de la tierra del año 2006, un mapa de cambio de la cobertura entre las dos fechas con sus respectivas estadísticas. También se estimó la Tasa Anual de Cambio de la Cobertura de la Tierra entre el 2000-2006, toda esta información proporcionará a los Departamentos y/o Municipios que abarcan el área de influencia en la cuenca, herramientas básicas que les permita orientar la toma de decisión en el manejo de sus Recursos Naturales y en el Ordenamiento y Gestión del Territorio.

Se considera que la disponibilidad de esta información por parte de los municipios que conforman la cuenca, contribuirá a promover medidas, acciones y actividades para mejorar el uso sostenible de los recursos naturales.

La Cuenca del Valle Jesús de Otoro posee una gran diversidad de recursos Naturales (paisajes), arqueológicos y culturales, por lo que las autoridades de las municipalidades que forman parte de la cuenca deben unirse y compartir la responsabilidad de desarrollar un plan de Ordenamiento de la cuenca en común, con mira desarrollar el turismo y mejorar la productividad agrícola, ya que la cuenca tiene mucho que ofrecer.

## **ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y DINÁMICA DE COBERTURA DE SUELOS, METODOS DE TELEDETECCIÓN, VALLE DE CHOLUTECA, HONDURAS**

Rafael Enrique Corrales Andino<sup>(1)</sup> & Juan Gregorio Rejas Ayuga<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (DCTIG-FACES/UNAH) Tegucigalpa, Honduras. [rafa504@yahoo.com](mailto:rafa504@yahoo.com)

(2) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno (UPM)- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Madrid, España. [rejasai@inta.es](mailto:rejasai@inta.es)

### **Abstract**

The environmental change on the rocks, which elicits a mineralogical, chemical and textural (presence of hot water, steam or gas) is a hydrothermal alteration. The aim was to generate thematic maps integrated into a Geographic Information System (GIS) for environmental studies, modeling and its relationship to archaeological research in the Valley of Choluteca. Materials: Landsat TM and ETM + (1990, 2002), libraries of spectral signatures and vector mapping. The methodology applied is based on 1) Digital Image Processing and field verification, 2) characterization of hydrothermal alteration, 3) Change of Soil Dynamics. Results: Coverage of change: forests (44.2% gain and 43.0% loss), shrubs and grasses. The hydrothermal alteration present: iron oxide and hydroxyl. The dynamics of soil change and identification of hydrothermal alteration would provide more information if you apply hyperspectral imaging as presented in the study area vegetation, and desertification.

**Palabras clave:** Cobertura Vegetal, Alteración Hidrotermal, Método Crosta, Honduras.

### **1. Introducción. Objetivos**

El área de estudio se encuentra en el “Valle” de Choluteca, constituida entre los Departamentos de Valle y Choluteca en la región Sur del país (Figura 1) un rectángulo de una superficie de 6,318.4 km<sup>2</sup>, ubicado en la siguiente coordenada de proyección UTM, en el centroide 479348.3128 E 1668742.421 N. El área comparte los departamentos de Choluteca (municipios de Choluteca, Marcovia, Namasigue y Santa Ana de Yusguare, El Corpus, El Triunfo, Orocuina y Liure) y una pequeña fracción del departamento de Valle (municipio de San Lorenzo). El valle es irrigado principalmente por el Río Grande o Choluteca, el Río Sampile, Estero Real y Río Istoca.

El suelo como ambiente geoquímico profundo y superficial, raramente conserva su identidad, ya que esta pasa a través de una serie de transformaciones mayores conocidas como ciclo geoquímico, de esta manera todo material contenido en el sistema tierra, tiende en intervalos de tiempo muy variables, a ser redistribuido, alterado, fraccionado, y mezclado con otros materiales. Este proceso en el cual átomos y partículas se mueven de un ambiente o localidad a un nuevo ambiente ha sido descrito a través de los conceptos de diferenciación geoquímica y dispersión geoquímica. Así, en el ambiente geoquímico profundo, la dispersión de elementos químicos está controlada principalmente por la composición de las fases derivadas del manto, la presión del medio y la temperatura, siendo los procesos de fusión, cristalización, re cristalización, y alteración hidrotermal los que controlan de manera más pronunciada la dispersión de elementos (La Tierra como Sistema).

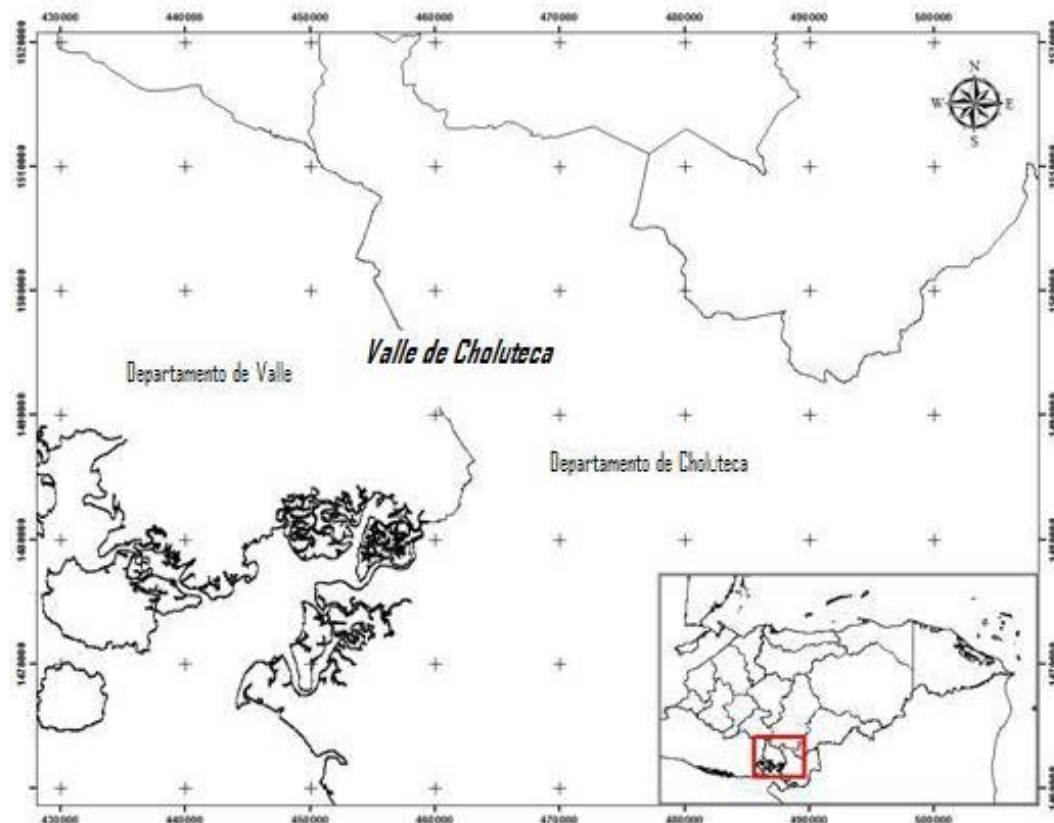


Figura 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio: Valle de Choluteca.

En este sentido, los datos de Teledetección y el tratamiento digital de las imágenes vienen utilizándose desde hace décadas para la generación de cartografía temática de varios tipos: (1) Cobertura y Uso del Suelo y (2) Alteraciones hidrotermales.

Para ello, las investigaciones se han centrado en aplicar dos técnicas habituales, clasificación digital por un lado, y Técnica Crosta (Crosta et al. 2003) en lo referente a la detección de superficies alteradas hidrotermalmente; esta última ha sido validada y contrastada científicamente para diferentes escenarios geológicos. Permite discriminar a partir de las imágenes de Teledetección, entre la respuesta espectral de las arcillas y la de los óxidos de hierro, que se pueden interpretar como alteraciones argilíticas y limoníticas, respectivamente. Y por otro lado La clasificación es el proceso por el cual se agrupan los píxeles en un número determinado o finito de clases individuales con base en los niveles digitales de los datos. Cuando un píxel cumple satisfactoriamente los requisitos (criterios), este es asignado a la clase que corresponda a ese requisito (Corrales, 2004).

## 2. Materiales y métodos

Los materiales que se utilizarán en el proyecto de Tesis son los siguientes:

- Imágenes TM, y ETM+ del satélite Landsat
- Imagen ALI correspondiente al año 2004
- Imagen ASTER de 2004
- Librerías de firmas espectrales del USGS y otras
- Cartografía vectorial y modelos digitales del terreno de 30 m de paso de malla.

El método fue dividido en dos fases: Tratamiento Digital de Imágenes y Verificación de Campo y Análisis de Componentes Principales, tal como se desarrolla a continuación.

#### Tratamiento Digital de Imágenes y Verificación de Campo

##### ➤ Caracterización de Alteración Hidrotermal del Suelo

El método para la caracterización de alteraciones hidrotermales del suelo por técnicas de teledetección, consistió en un análisis de componentes principales (PCA) selectivos, aplicados para la cartografía de óxido de hierro y minerales arcillosos. Estos materiales están directamente relacionados con varios tipos de alteración hidrotermal tales como alteraciones potásicas, filíticas y propilíticas (Bragado, E., Rejas, J.G., Marchamalo M. and Martínez, R. 2008).

#### Análisis de Componentes Principales (Técnica de Crosta)

La PCA es una poderosa técnica que puede utilizarse para los efectos de la supresión de la irradiancia que dominan todas las bandas, resaltando las características de reflectancia espectral de materiales geológicos. PCA fue aplicado a datos multivariantes, como las imágenes multispectrales de teledetección, con el fin de obtener respuestas espectrales concretas, como en el caso de minerales de alteración hidrotermal.

##### ➤ Detección y Delimitación de Alteraciones:

Una simple máscara para re-codificar solo las áreas alteradas, identificadas en las imágenes procesadas.

##### ➤ Dinámica de Cambio del Suelo

La clasificación por cobertura y uso del suelo (CUS), se aplicó utilizando el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad. Método deductivo que muestra encontrar una correlación entre los números digitales de las imágenes satelitales (preferiblemente radiancia espectral) y las diferentes clases de cobertura de uso del suelo (Corrales, 2004).

Clasificación por Cobertura y Uso del Suelo, este método se desarrolló en tres etapas a saber: Etapas Pre-Entrenamiento, en donde se comenzó con el diseño y estructura del Sistema de Información Geográfica (SIG) y Sistema de Clasificación de la cobertura y uso del suelo (Leyenda), entendiendo Cobertura de la tierra como el recubrimiento o cubierta biofísica que se observa sobre la superficie terrestre. Incluye la vegetación y elementos antrópicos, así como roca, suelo desnudos y cuerpos de agua y Uso de la tierra, como, actividades que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Se estableció una relación directa entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente (Petroglia, C., Acosta & Sergio Lara. 2008).

La Etapas de Entrenamiento consistió en seleccionar las firmas espectrales para entrenar las clases propuestas, o las clases encontradas en las imágenes y se divide en Selección de las muestras y su Evaluación; y la Etapas de Clasificación, que fue la asignación de píxeles de la imagen entre las categorías definidas originalmente en la leyenda a través de las áreas de entrenamiento, con dos procesos: la Clasificación Supervisada, como criterio paramétrico de máxima probabilidad, y Evaluación de la misma, donde se comprueba su error o la fiabilidad de los resultados de dicha clasificación (F. J. Salas, E. Chuvieco. 1995)

### **3. Resultados y discusión**

En general encontramos un cambio de 25.6% en pérdidas desde el punto de vista ecológico y una ganancia general de 74.4% del área de estudio. Dentro del punto de vista antropológico, el dinamismo de las coberturas se centra entre los pastos, los cultivos y los suelos desnudos, en donde la mayor parte de los cultivos pasaron a ser pastos (8,467.95 ha), lo mismo que el suelo

desnudo a pastos (11,586.8 ha). La Dinámica de Cambio de las 6 coberturas entre 1990 y 2002, correspondiente al Valle de Choluteca, la cual se muestra en la Tabla 1, muestra las diferentes combinaciones de ganancias y pérdidas encontradas en las cobertura: 1= Bosques, 2 = Matorrales, 3 = Pastos, 4 = Cultivos, 5 = Suelo Desnudo y 6 = Agua.

**Tabla1. Matriz de cambio de coberturas en el Valle de Choluteca, entre los años 1990 y 2002.**

Raster Attribute Editor

R:

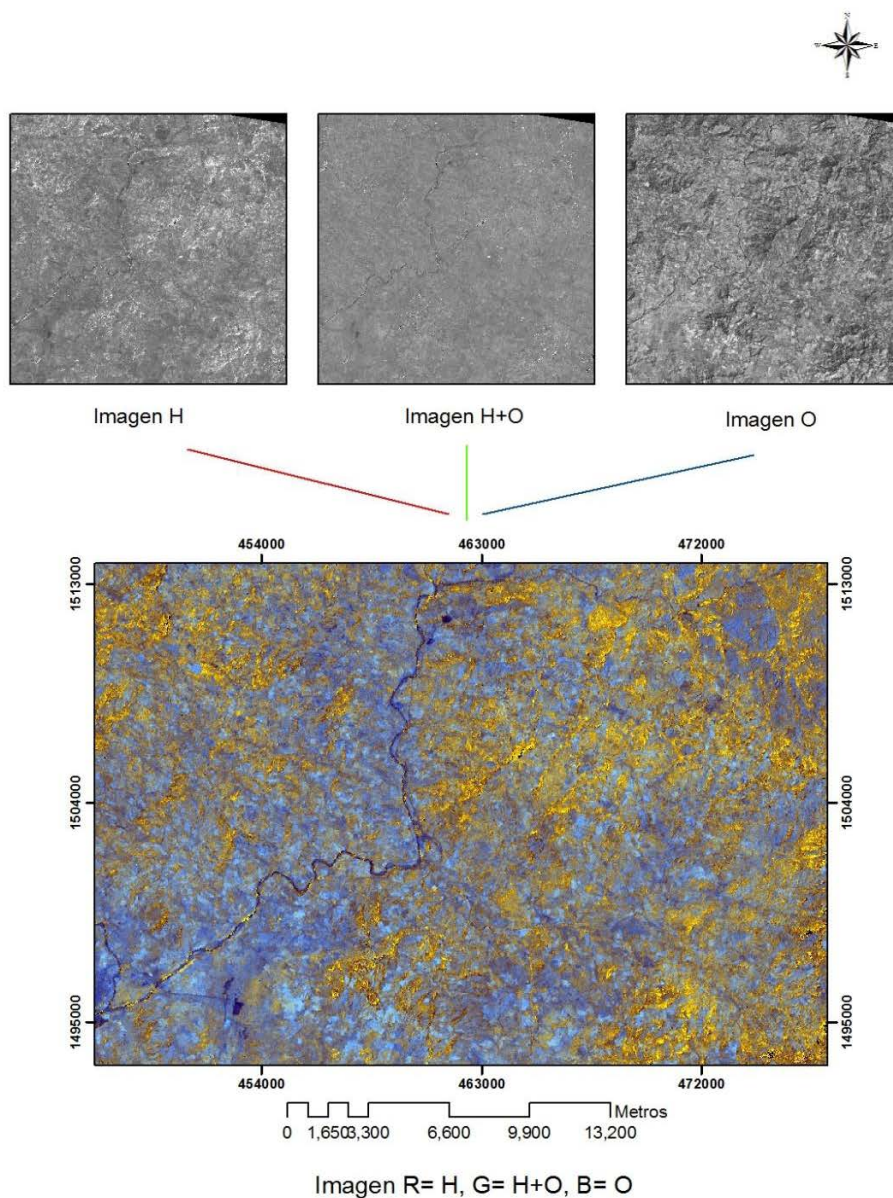
Row	Histogram	eliminate_1990 value	eliminate_2002 value	Color	Cambios	Row	Area	Opacity
0	0	0	0	0		0	0	1
1	486512	1	1	1	Sin cambio	1	39516.9	1
2	5607	1	2	2	Negativo	2	455.429	1
3	337868	1	3	3	Negativo	3	27443.3	1
4	14820	1	4	4	Negativo	4	1203.75	1
5	3600	1	5	5	Negativo	5	292.41	1
6	5253	1	6	6	Negativo	6	426.675	1
7	109734	2	1	1	Positivo	7	8913.14	1
8	18123	2	2	2	Sin cambio	8	1472.04	1
9	345116	2	3	3	Negativo	9	28032	1
10	21806	2	4	4	Negativo	10	1771.19	1
11	12091	2	5	5	Negativo	11	982.091	1
12	851	2	6	6	Negativo	12	69.1225	1
13	232101	3	1	1	Positivo	13	18852.4	1
14	72781	3	2	2	Positivo	14	5911.64	1
15	1354162	3	3	3	Sin cambio	15	109992	1
16	44050	3	4	4	Positivo	16	3577.96	1
17	152503	3	5	5	Negativo	17	12387.1	1
18	2332	3	6	6	Negativo	18	189.417	1
19	13907	4	1	1	Positivo	19	1129.6	1
20	778	4	2	2	Positivo	20	63.1931	1
21	104253	4	3	3	Positivo	21	8467.95	1
22	50346	4	4	4	Sin cambio	22	4089.35	1
23	19096	4	5	5	Negativo	23	1551.07	1
24	358	4	6	6	Negativo	24	29.0786	1
25	20944	5	1	1	Positivo	25	1701.18	1
26	1380	5	2	2	Positivo	26	112.091	1
27	142651	5	3	3	Positivo	27	11586.8	1
28	16334	5	4	4	Positivo	28	1326.73	1
29	16974	5	5	5	Sin cambio	29	1378.71	1
30	1150	5	6	6	Negativo	30	93.4088	1
31	595	6	1	1	Negativo	31	48.3289	1
32	6	6	2	2	Negativo	32	0.48735	1
33	2333	6	3	3	Negativo	33	189.498	1
34	308	6	4	4	Negativo	34	25.0173	1
35	332	6	5	5	Negativo	35	26.9667	1
36	863	6	6	6	Sin cambio	36	70.0972	1
Count	37	37	37	37	37	Count	37	37
Total	3611918	126	126	N/A	N/A	Total	293378	37
Mean	97619	3.40541	3.40541	N/A	N/A	Mean	7929.14	1
Minimum	0	0	0	N/A	N/A	Minimum	0	1
Maximum	1354162	6	6	N/A	N/A	Maximum	109992	1
Stddev	240606	1.80215	1.80215	N/A	N/A	Stddev	19543.2	0

La identificación de Alteraciones Hidrotermales se realizó bajo el análisis de las Imágenes del Sensor LandSat TM y ETM+, (Tabla 2) aplicando el método Crosta (Componente Principal Selectivo), generando cartografía de Hidroxilos y óxidos de Hierro en combinación RGB (Figura 2), y Crosta con 6 y 4 Bandas (Figura 3).



Tabla 2. Reflectancia y Absorción de Minerales por LandSat

Material	Reflectancia	Absorción
Carbonatos	TM5	TM7
Filosilicatos		
Sulfatos		
Hematita	TM3	TM2
Goethita	TM3, TM2	TM1
Jarosita	TM3, TM2, TM1	TM1



La imagen de Hidroxilos (H) se calculo a través del cociente de las bandas 5/7, La imagen de Oxidos (O) se calculo con el cociente entre las bandas 3/1, para representar la imagen en color se sumaron las imagenes H y O, la combinación de bandas se represento como RGB, en imagen H, H+O y O, respectivamente.

Figura 2. Mapa de Alteraciones Hidrotermales del valle de Choluteca



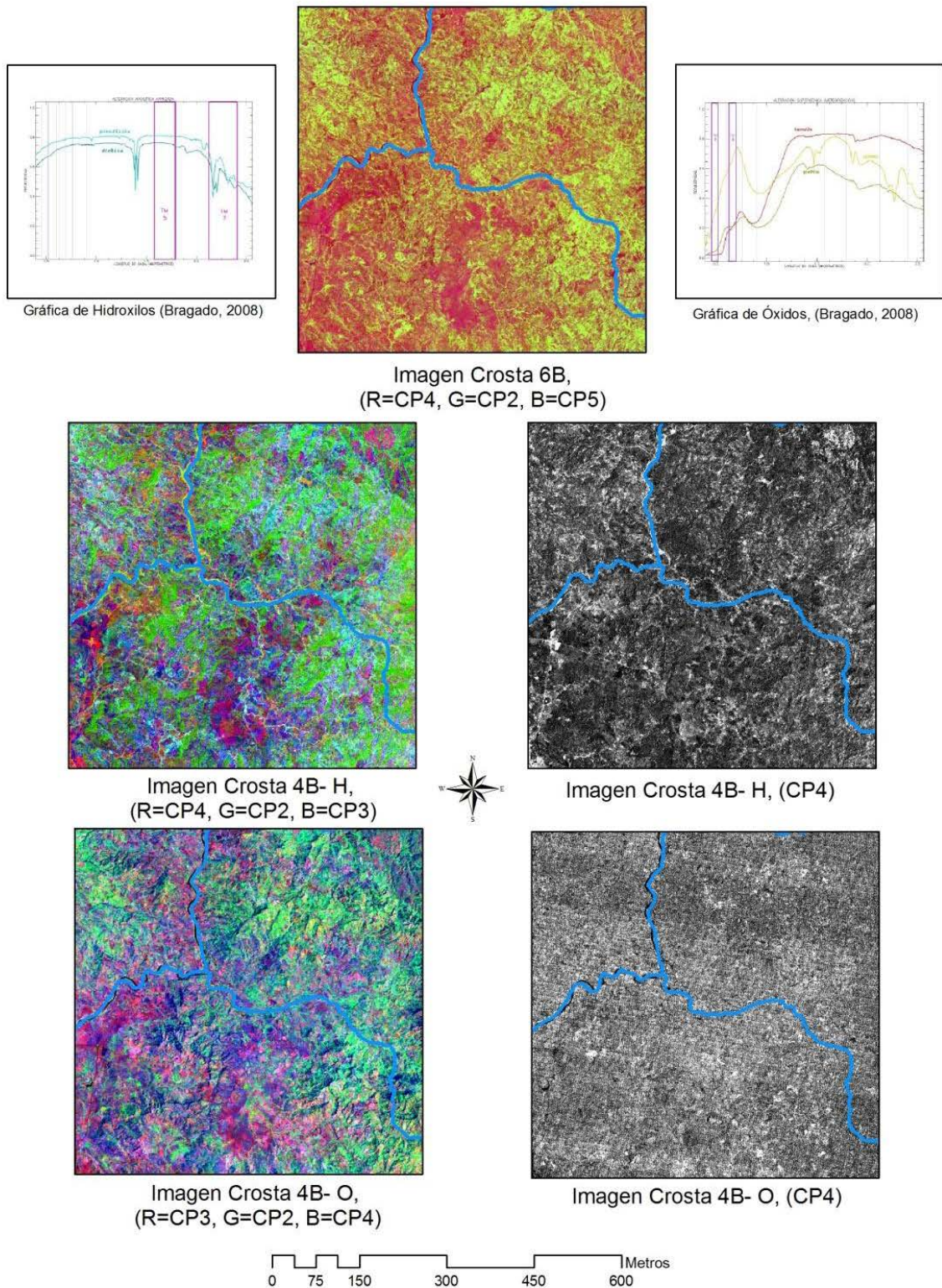


Figura 3. Mapa de Alteraciones Hidrotermales del valle de Choluteca, Crosta 4 y 6 bandas.

#### 4. Conclusiones

La clasificación fue lo suficientemente confiable para concluir que en el área se produjo un cambio en las coberturas menor a la que se esperaba, ya que la dinámica indicó que un 53.4%, o 156,518.95 ha. Se mantuvieron sin cambio, mientras que el cambio positivo fue de 21.0%, para un total de 74.4%, en relación al 25.6% de cambio negativo.

Una de las posibles dificultades para la detección de materiales hidrotermales es la cobertura vegetal, por lo que resulto indispensable saber cómo se comportan las diferentes coberturas en las bandas espectrales de diferentes sensores, de esta manera se puede conocer que bandas son las mejores combinaciones para los propósitos deseados, tal es el caso de los Componentes Principales, en donde en el CP2, se refleja la aportación de la banda del infrarrojo cercano (Banda 4 de LandSat).

#### Literatura citada

- BRAGADO E, REJAS JG, MARCHAMALO M, MARTÍNEZ, R. 2008. Characterization of hydrothermally altered materials in the Central Volcanic Range, Costa Rica, using TM data. PROCEEDINGS OF THE REMOTE SENSING AND PHOTOGRAMMETRY SOCIETY CONFERENCE 2008 *"Measuring change in the Earth system"*. University of Exeter.
- CORRALES R. 2004. Caracterización y Detección de cambios en 14 Áreas Protegidas de Honduras, a partir del Estudio de Datos Geoespaciales. Trabajo de Tesis previa opción a Licenciatura, en Biología. UNAH.
- CROSTA et al. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. International Journal of Remote Sensing. VOL. 24, NO. 21, 4233–4240.
- SALAS FJ, CHUVIECO E. 1995. Aplicación de Imágenes LandSat-TM en la Cartografía de Modelos Combustibles. Revista de Teledetección.
- LA TIERRA COMO SISTEMA. <http://www.educarchile.cl/autoaprendizaje/tierra/modulo1/clase2/texto/sistema.htm>
- PETROGLIA C, ACOSTA, SERGIO LARA. 2008. Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra, FOA.

## INDICADORES TÉCNICOS Y EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE LA TIERRA EN LA CALIDAD DEL AGUA, SUBCUENCA DEL RÍO TASCALAPA YORO HONDURAS

Lina Andrea García Obando, presentado por Karla Lizzeth Martínez <sup>(1) (\*)</sup>

(1) Bosque Modelo Yoro, Honduras. [karla0206@yahoo.com](mailto:karla0206@yahoo.com)

### Resumen

Entre los meses de marzo a julio del 2003 se efectuó una caracterización del estado físico químico, biológico y geomorfológico, los datos fueron colectados en doce estaciones ubicadas en la Subcuenca del Río Tascalapa, Yoro Honduras, agrupadas en dos tratamientos, cuatro estaciones con BOSQUE Y nueve estaciones con CULTIVOS CASAS. Las variables geomorfológicas medidas fueron: estado de conservación de la vegetación ribereña, conservación del canal y riqueza de hábitat en las fuentes. Los parámetros físico químicos tomados fueron oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad, salinidad, temperatura (°C), la turbidez (UTN), nitratos (mg/l), ortofosfatos (mg/l), pH, coliformes fecales UFC, dureza total (mg/l), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (mg/l), y Demanda Química de oxígeno (DQO). Y las variables biológicas colectadas fueron valores de abundancia correspondiente a cada uno de los grupos de macroinvertebrados.

Con los datos obtenidos se calculó el índice de uso de la tierra (IUT), el índice físico químico de calidad del agua (ICA), el índice biológico de calidad del agua BMWP, índice de diversidad de Shanon, riqueza de taxa, dominancia de Simpson y pérdida de taxa de Kothe. Con el conjunto de variable se observó la interrelación existente entre todas las variables con el fin de determinar los indicadores técnicos mas apropiados para futuras evaluaciones, además se determinaron los puntos que presentaron mayores problemas de calidad de agua en la cuenca.

**Palabras Claves:** cuenca hidrográfica, calidad del agua, influencia del uso de la tierra, macroinvertebrados, parámetros físico químicos, Río Tascalapa Honduras.

### 1. Introducción. Objetivos

A pesar de que Centroamérica es una región dotada de altos niveles de lluvia, la región empieza a tener problemas de contaminación del recurso hídrico. Este sistema superficial de agua, ha sido la principal fuente de abastecimiento para el consumo humano, riego y para verter los desechos industriales domésticos y agropecuarios, lo que hace un siglo no causaba ningún impacto sobre el ecosistema, ni en la salud humana, ahora se ha vuelto un problema insostenible.

En muchos lugares de Centroamérica la vida de los ríos solo se limita a las temporadas de lluvia dejando territorios rurales sin fuentes de agua cercanas, por ello su contaminación empieza a limitar la calidad de vida de los pobladores y el desarrollo socio económico. Con el fin de avanzar en acciones que ayuden a un manejo más sostenible es importante el desarrollo de herramientas que apoyen la toma de decisiones, se han establecido algunos indicadores, siendo importante continuar con los esfuerzos.

---

(\*) NOTA: Tesis sometida a consideración de la Escuela de Postgrado como requisito para optar al grado de Magíster Scientiae en Manejo de Cuencas Hidrográficas con sub especialización en Manejo de la Biodiversidad Magíster Scientiae Por LA García Obando.

Específicamente la falta de ordenamiento en el uso de los recursos hídricos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras, ha contribuido a los procesos de contaminación de las aguas. En la región las principales reservas de agua potable y para otras actividades antrópicas, las constituyen las fuentes superficiales, como los manantiales y pequeños ríos, sin embargo las actividades agropecuarias con ausencia de tecnología apropiada han causado degradación del suelo, degradación del bosque debido a la extracción de leña, madera, deterioro de la calidad-cantidad de agua y la pérdida de las fuentes de agua (AGROGENET 1997), ocasionando disminución de la biodiversidad y afectando la calidad de vida de las poblaciones locales.

Para analizar la perturbación sufrida en las fuentes naturales y potenciales de agua para suministro a los asentamientos humanos, los métodos tradicionalmente utilizados han sido los físico - químicos, pero estos dan tan solo información puntual del estado del agua. El uso del análisis biológico, que se efectúa con base a organismos, está siendo fuertemente implementado ya que brinda información de lo que aconteció días y horas antes de la toma de la muestra. Es aceptado que el análisis biológico no reemplaza la información físico-química, pero ambos convergen y se complementan (Cairns y Dickson 1971; Benfield *et al.* 1987).

La falta de una investigación que proporcione información del estado de calidad y cantidad de aguade la mayor parte de la red de drenaje de la subcuenca Tascalapa, ha evidenciado la necesidad de llevar a cabo este estudio. Por lo tanto se desea actualizar algunos datos físico-químicos efectuados en años anteriores (Pineda 2000) y además generar información de la cantidad y calidad del agua que se produce en la subcuenca del Río Tascalapa, mediante mediciones de caudal y la toma de muestras biológicas y físico-químicas en la parte alta y media de la subcuenca. Esto con el fin de apoyar la toma de decisiones e identificar indicadores técnicos de calidad de agua que apoyen su manejo sostenible, el mismo es fuente de abastecimiento de agua potable, para riego de varios asentamientos del municipio de Yorito y Sulaco. Además el Río Tascalapa, es un tributario del Río Sulaco que desemboca en la represa del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, una de las fuentes principales de generación eléctrica de Honduras (CIAT 2000).

### Objetivos

- ☐ Evaluar la influencia de diferentes grados de uso de la tierra en la calidad del agua en la cuenca del Río Tascalapa, mediante indicadores físico-químicos, biológicos y geomorfológicos, con el fin de generar una línea base que apoye la toma de decisiones para el manejo integrado de esta subcuenca.
- Evaluar la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua en la parte alta y media de la sub-cuenca del Río Tascalapa y determinar la relación entre el uso de la tierra y la degradación físico química, biológica y geomorfológica de la red hidrográfica.
- Cuantificar indicadores físico-químicos y biológicos de calidad de agua en la sub-cuenca.
- Identificar zonas de la cuenca que se deben priorizar para ejecutar acciones de manejo para la conservación del agua y de los demás recursos naturales.

### 2. Materiales y métodos

La investigación se efectuó en la subcuenca del Río Tascalapa zona de referencia del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), ubicada en el centro de Honduras. La importancia de este estudio radica en que el Río Tascalapa es tributario del Río Sulaco, el cual desemboca en la represa del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, una de las fuentes

principales de generación eléctrica de Honduras.

La subcuenca tiene una superficie de aproximadamente 112.8 km<sup>2</sup>, abarca parte del municipio de Yorito y Sulaco (Figura 1). La subcuenca del Río Tascalapa se encuentra conformada en la parte alta y media por las microcuencas: Jalapa, Luquigüe, y Ojo de Agua.

Se seleccionaron 12 estaciones de monitoreo; cuyo criterio fue grado de influencia antropica, agrupando cuatro estaciones con bajo grado de influencia del uso de la tierra y ocho con mayor grado de influencia. Los criterios de selección fueron: presencia de poblados y ancho de la franja riparia.

Los muestreos se llevaron a cabo mensualmente desde marzo hasta julio del 2003, durante la época seca e inicios de la época lluviosa. En cada campaña se visitó cada una de las estaciones de muestreo y se tomaron las muestras requeridas.

Las estaciones seleccionadas fueron:

En el Río Tascalapa, Nacimiento Tascalapa, Después del Poblado de Luquigüe (Foto 1), Antes de la Quebrada Sulaquito Después de la Quebrada Sulaquito, y Antes de la Desembocadura del Río Tascalapa.

#### Evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua y cuantificación de indicadores físico-químicos, biológicos y geomorfológico

##### ➤ Determinación de algunas variables físicas

Con el fin de conocer un poco en detalle como es el manejo del uso de la tierra por los habitantes y observar como estas actividades pueden afectar la calidad del agua de las fuentes, se efectuaron encuestas en cada uno de los asentamientos humanos del área de influencia a cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del agua.

La información se analizó aplicando un análisis de varianza y una prueba de Duncan con el fin de observar si hubo diferencias significativas de los índices entre los dos grupos de estaciones que presentaron mayor y menos grado de influencia de uso de la tierra. El modelo aplicado para efectuar el análisis de varianza fue un irrestricto al azar donde el modelo matemático es:

$Y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + TE_{ij} + e_{ijk}$  Donde:  $Y$  = Valor del índice,  $i$  = Tratamiento,  $j$  = Época,  $TE_{ij}$  = Tratamiento \* Época,  $e_{ijk}$  = error experimental.

#### Muestreo en el campo

Los parámetros medidos directamente en el campo fueron: oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad, salinidad, temperatura (°C), pH, la turbidez (UTN), nitratos (mg/l), ortofosfatos (mg/l), pH. Fueron medidos con equipos portátiles HACH: El oxígeno con el equipo SENSION 6, los sólidos totales disueltos, la conductividad, la salinidad y la temperatura con SENSION 5, EL pH con SENSION 1, la turbidez con el equipo portátil 2100 P y parámetros como los nitratos-fosfatos fueron medidos con el DR/2400 spectrophotometer. Los coliformes fecales (UFC), dureza total (mg/l), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (mg/l), y Demanda Química de oxígeno (DQO) fueron llevados al laboratorio y se analizaron de acuerdo a las especificaciones de Standard Methods for Examination of Water and Wastewater edition 17.

Para observar las diferencias de los parámetros físicos químicos entre los dos grupos de estaciones que pertenece un grupo al tratamiento BOSQUE y el otro a CULTIVOS Y CASAS, se efectuó un análisis de varianza, el modelo aplicado fue un irrestricto al azar donde el modelo matemático es:

$Y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + TE_{ij} + e_{ijk}$  Donde:  $i$  = Tratamiento,  $j$  = Época,  $TE_{ij}$  = Tratamiento \* Época,  $e_{ijk}$  = error experimental



### Aspectos biológicos

#### ➤ Método de muestreo en el campo

Entre marzo y julio, en cada una de las 12 estaciones establecidas en los arroyos de la subcuenca, se colectaron muestras en los distintos microhábitats representativos de las quebradas como sedimento, troncos, hojas, y vegetación acuática (Figura 7). En cada estación se colectó tres submuestras con una red manual (25 cm x 40 cm), con un volumen de 3 litros cada una. El número de submuestras fue establecido haciendo un pre muestreo y con los datos se elaboró una curva donde el eje X represento cada submuestra y el eje Y la riqueza de familias. Las muestras biológicas se guardaron individualmente en recipientes con formol al 5% y luego fueron llevados al laboratorio de la Escuela Nacional Forestal de Honduras (ESNACIFOR).

### Comportamiento de las variables bióticas y abióticas en la sub-cuenca del Río Tascalapa

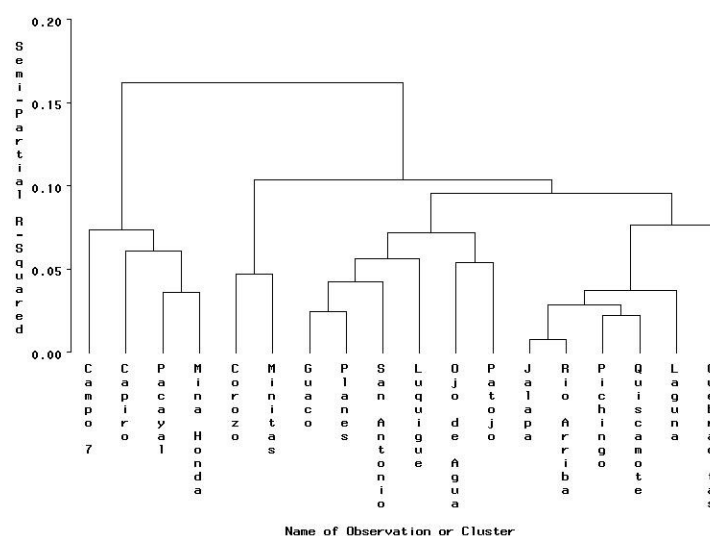
Con el fin de observar el comportamiento de las variables físico químicas, de los índices bióticos y de la calidad biológica del agua en todas las fuentes monitoreadas y durante las apocas de muestreo, se efectuó un Análisis de Componente Principales, a partir de una matriz conformada por columnas (índices bióticos, índice de calidad del agua ICA, el índice de uso de la tierra, el índice geomorfológico del canal y las variables físico químicas) y líneas (época, tratamiento y estaciones de muestreo).

## **3. Resultados y discusión**

### Uso de los pesticidas y manejo de envases en los diferentes poblados

Un alto porcentaje de habitantes de la subcuenca utiliza pesticidas (Figura 9). El análisis de agrupamiento muestra que no hubo diferencias significativas ( $\alpha > 0.05$ ) en el uso de pesticidas entre los poblados, el caracterizarse por tener en común un determinado el uso y manejo de los envases de pesticidas.

El manejo más frecuente de los envases de pesticidas en todos los poblados es botarlos en cualquier sitio, seguido de las prácticas de quemar los envases y de usarlos para acarrear agua (Figura 1). Los resultados con el análisis de agrupamiento muestran que no hubo diferencias significativas en el manejo de los envases entre los poblados de la zona de influencia.



**Figura 1. Análisis de agrupamiento de los poblados que se caracterizaron por tener uso y prácticas de manejo similares.**

### Manejo de fertilizantes en los diferentes poblados

En relación al uso de fertilizantes químicos y orgánicos o ambos tipos, los resultados del análisis de agrupamiento muestra que hubo diferencias significativas ( $\alpha < 0.05$ ) (Tabla 1). Los poblados que

usan con más frecuencia fertilizantes químicos son los del grupo 2: Campo 7 (1), Capiro (2), Pacayal (5) y Mina Honda (12) . Le siguen los asentamientos del grupo 1: Guaco (4), Planes (10), San Antonio (18), Luquigue (11), Ojo de Agua (13), Patojo (14), Jalapa (6), Río Arriba (17), Pichingo (15), Quiscamote ( 16), Laguna (7) y Quebraditas (9).

**Tabla 1. Grupo de variables que no presentaron diferencias significativas entre poblados, y que no fueron criterio para formar los tres grupos obtenidos con el análisis de agrupamiento.**

VARIABLE	F	P(X)
Usan pesticidas	0.27	0.77
Queman los envases	0.10	0.90
Botan los envases de pesticida	1.46	0.26
Entierran los envases de pesticida	1.48	0.26
Acarrean agua en estos envases de pesticida	0.59	0.57
Botan los envases de pesticida a la quebrada	2.14	0.15
Usa fertilizante	0.07	0.93
Usan orgánico	1.94	0.18
Usan menos fertilizantes que antes	0.27	0.76
Aguan el ganado en abrevadero	0.44	0.65
Aguan el ganado en las pilas	0.23	0.80
encierran los animales	1.24	0.32
La materia orgánica la tiran fresca a las plantas	1.54	0.24
a materia orgánica la entierran	1.96	0.17
La materia orgánica se vierte a la quebrada	2.48	0.12
La materia orgánica la tiran al solar	0.23	0.80
La materia orgánica la quema	1.11	0.35
La materia orgánica la botan a la parcela agrícola	2.18	0.15
La materia orgánica la dejan descomponer en un sitio	0.38	0.69
Hay derrumbes en las parcelas	3.36	0.06
Lavado de ropa en la fuente	0.51	0.61
Uso de letrina	2.62	0.10
Bebe de la fuente	1.09	0.36
Se bañan en la quebrada	0.15	0.86
Problemas de salud	0.70	0.51
Protegen las fuentes	0.96	0.41
Existe programas de reforestación	1.66	0.22

### Manejo pecuario en los asentamiento humanos

Los resultados obtenidos en el análisis de agrupamiento muestra que se observan diferencias significativas entre los poblados ( $\alpha < 0.05$ ) . Los poblados donde mayor cantidad de ganado existe es en el grupo 1: Guaco (4), Planes (10), San Antonio (18), Luquigue (11), Ojo de Agua (13), Patojo (14), Jalapa (6), Río Arriba (17), Pichingo (15), Quiscamote ( 16), Laguna (7), Quebraditas (9), seguido por el grupo 3: Corozo (3) y Minitas (8).

La práctica más frecuente para dar de beber al ganado es llevarlos a la quebrada, la cual presentó diferencias significativas entre poblados , y en menor frecuencia emplean abrevaderos y pilas. Los resultados muestran además que un bajo porcentaje de los

entrevistados expresan encerrar los animales en un sitio específico, la mayoría de pobladores dejan libres en la zona las vacas, cerdos y las gallinas.

#### Manejo de la materia orgánica en las fincas en los asentamientos humanos

Con el análisis de agrupamiento no se observó diferencias significativas en cada una de las opciones

de manejo de la materia orgánica entre los poblados entrevistados. Sin embargo los resultados obtenidos muestran que la práctica de manejo más frecuente en todos los poblados es que la materia orgánica la dejan podrir en un sitio específico y posteriormente la utilizan como abono, seguido a esta práctica, la materia orgánica la vierten directamente a las plantas. En contraste la opción de manejo menos frecuente es la quema del material orgánico y botarla a la parcela agrícola.

#### **4. Conclusiones**

Al evaluar el estado físico-químico del agua, con el fin de identificar los puntos de la cuenca que presentaron limitantes con algunos parámetros físico-químicos para determinado uso del agua, según la norma nacional de Honduras, se observó que las concentraciones de nitratos, fosfatos, conductividad, sólidos totales disueltos, turbiedad, pH y oxígeno disuelto presentaron concentraciones aptas para todos los usos. Solamente menos del 50% de las estaciones monitoreadas en la cuenca, presentan algunos parámetros limitantes, siendo necesario aplicar el tratamiento convencional para potabilizar el agua. La DQO y DBO presentaron valores muy altos en todas las estaciones de monitoreo, fuera de los límites que recomienda para usar el tratamiento convencional. La presencia de coliformes fecales presentó valores críticos en las estaciones Antes de la Quebrada Sulaquito y en la Quebrada Sulaquito.

En cuanto a las características del agua para uso agrícola no se observó limitantes, excepto con la presencia de coliformes fecales que presentó los valores más críticos en las estaciones Antes de la Quebrada Sulaquito y en la Quebrada Sulaquito.

Para la preservación de la flora y fauna se observó que las concentraciones de las variables fueron aptas, sin embargo los valores del DQO en las estaciones Nacimiento Tascalapa, Quebrada Membrilla, Sulaquito y Aguas Arriba, presentaron limitaciones.

Para el uso recreativo, variables como el pH y el oxígeno disueltos no fueron limitantes, permitiendo el contacto directo, sin embargo la DQO presentó valores muy elevados en todas las estaciones monitoreadas, siendo un factor limitante. Los coliformes fecales es un factor limitante en la estación Antes de la Quebrada Sulaquito y Quebrada Sulaquito.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede inferir que el uso de cultivos y asentamiento humanos tienen un impacto negativo en algunos parámetros físico-químicos, biológicos y geomorfológicos en la red de drenaje del Río Tascalapa. Sin embargo, los cambios observados hasta el momento según el índice de calidad físico química (ICA) el agua es óptima a buena y en cuanto a la calidad biológica del agua según el BMWP, la clasifica de excelente calidad.

Aunque los resultados obtenidos hayan mostrado que la calidad de agua en la cuenca sea de buena a optima, los valores disminuyen hacia la parte baja de la cuenca, que es el sitio donde se observa mayor presencia cultivos y poblados, Sin embargo es importante efectuar acciones de manejo y conservación de suelo y agua de manera concertada con la comunidad, con el fin de evitar que se intensifique el deterioro siendo importante priorizar las áreas cercanas a la estación Jalapa Abajo, Desembocadura Ojo de Agua, Antes de la Quebrada Sulaquito y Quebrada Sulaquito y Antes de la Desembocadura Tascalapa.



La falta de información sobre la cantidad de fertilizantes y agroquímicos en los cultivos de café y granos básicos, dificulta la interpretación de los niveles de nutrientes detectados en el agua.

La interrelación que se observa entre el uso de la tierra, la calidad geomorfológica del canal, la presencia de determinados macroinvertebrados bentónicos e los índices bióticos, muestran que son buenos predictores del estado de calidad del agua de las fuentes y pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas.

### Agradecimientos

Agradecimientos personas, instituciones por apoyo económico con becas, proyectos, etc.

Al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) proyecto de Suelos y Comunidades y Cuencas y al Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (CATIE), por el financiamiento de los estudios en el CATIE. A los miembros del comité de tesis Francisco Jiménez, Monika Springer, Bryan Finegan y Sandra Brown. A los miembros del Equipo de Trabajo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Yoro Honduras.

A estudiantes del instituto San Pedro a la Escuela Nacional Forestal (ESNACIFOR), en especial al Dr Samuel Rivera y a los estudiantes

Edith Núñez y Antonio Murillo, de quienes recibí apoyo en la colecta de los datos, durante mi estadía en Honduras.

Al fondo de los pequeños proyectos de CIAT en Centroamérica y al

Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (CATIE), por su apoyo económico para la realización de la presente investigación en Honduras.

### Literatura citada

- ALBA-TERCEDOR J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). *Almería*, 203-213.
- ALBA-TERCEDOR J, SÁNCHEZ ORTEGA A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética* 4: 51-56.
- ARMITAGE PD, MOSS D. 1983. The performance of a new Biological water Quality Score System based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research* 17 (3): 333-347. American Public Health Association American Society of Civil Engineers, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1969. Glossary of water and Wastewater control engineering.
- AYERS RS, WESCOT DN. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Roma Italia, FAO, 180 p.
- BARBOUR MT, GERRITSEN J, SNYDER BD, STRIBLING JB. 1999. RPB for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic macroinvertebrates and Fish. Second Edition.
- BEISEL JN, USEGLIO-POLATERA P, MORETEAU JC. 2000. The spatial heterogeneity of a river bottom: a key factor determining macroinvertebrate communities. *Hidrobiologia* 422-423: 163-171, 2000.
- BEITIA MA. 1989. Análisis de la problemática de la calidad del agua y formulación de recomendaciones en la cuenca alta del río Chiriqui Viejo. Panamá. Tesis Mag. Sc, Turrialba, Costa Rica. CATIE. 242 p.
- BENFIELD EF, NIEDERLEHNER BR. 1987. Efecto de la polución sobre invertebrados de agua dulce. *Wat. Sci. Tech.* 19 (11): 107-112.
- BGS/ODA/UEP/WHO. 1996. Characterisation and assessment of groundwater quality concerns in Asia Pacific Region. Doc UNEP/DEIA/AR. 96-1. Nairobi : UNEP.
- BROOKS KN, FOLLIOTT PF, GREGERSEN HM, THAMES J. 1996. Hydrology and the management of watersheds. Iowa state university press/ames.
- BROOKS KN, FOLLIOTT PF, GREGERSEN HM, THOMES JL 1991. Hidrology and the management of watershed. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

- BUNN SE, EDWARD DH. 1986. Spatial and temporal variation in the macroinvertebrate fauna of stream of the northern Jarrah forest, Western Australia: community structure. *Freshwater Biology* 16: 67-91.
- CAIRNS J, DICKSON KL. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the waste discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *Journal Water pollution Control Federation* 43 (5): 755-772.
- CAPRE. 2003. Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua, del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica y Republica Dominicana. Norma Técnica Nacional para Agua de Uso Agrícola y Pecuario, Recreativo, Preservación de la Flora y Fauna y Abastecimiento de Poblaciones. Republica de Honduras, Secretaria de Salud.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 2000. Estudio de suelos en 3 microcuencas de la subcuenca del Tascalapa. Luquique, Jalapa y Ojo de Agua. Reporte interno de trabajo CIAT.
- CHANDLER JR. 1970. A biological approach to water quality management. *Water Poll. Control*. 69: 415-422.
- CHARA JD. 2002. Interacciones entre el uso del suelo y los aspectos bióticos y abióticos de quebradas en el departamento del Quindío. Informe técnico, CIPAV (Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria).
- OTROS DETALLADOS EN DOCUMENTO

## **TRANSFERENCIA DE CAPACIDADES AL EQUIPO DE LA UNAH EN LA PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE LIBRE PARA LA CREACIÓN DE NUEVOS ALGORITMOS DE SEXTANTE Y SOBRE GVSIG, CENTRÁNDOSE EN LA MEJORA DEL APLICATIVO GVSIG FONSAAGUA PARA LA PLANIFICACIÓN DE ACTUACIONES DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES DE HONDURAS**

Francisco Alberto Varela García<sup>(1)</sup>, Eduardo Lempira Moreno Segura<sup>(2)</sup> y Juan Carlos Giménez Fernández<sup>(3)</sup>

(1) Laboratorio de Ingeniería Cartográfica (Cartolab), Universidade da Coruña, España. [avarela@udc.es](mailto:avarela@udc.es)

(2) Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (DCTIG-FACES/UNAH) Tegucigalpa, Honduras. [eddmorse7@hotmail.com](mailto:eddmorse7@hotmail.com)

(3) Departamento Área de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Extremadura (UNEX), Centro Universitario de Plasencia, España. [jcfernandez@unex.es](mailto:jcfernandez@unex.es)

### **Resumen**

Este proyecto es una propuesta de trabajo conjunto entre la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), la Universidad de Extremadura (UNEX) y la Universidade da Coruña (UDC). Las entidades directoras del proyecto son el Laboratorio de Ingeniería Cartográfica (Cartolab) por parte de la UDC, el Departamento de Medio Agrónomo y Forestal de la UNEX y el Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica por parte de la UNAH.

Con este proyecto se pretende conformar redes de cooperación interuniversitaria para el desarrollo de la investigación y transferencia de capacidades en temas relacionados con las Tecnologías de la Información Geográfica, Ordenamiento territorial, gestión, abastecimiento y saneamiento de agua en Zonas Rurales de Honduras.

El centro universitario de coordinación del proyecto es la UDC. El centro universitario de coordinación del país socio es la UNAH.

**Palabras Clave:** gvSIG-Fonsagua, Sextante, Ordenamiento Territorial, Agua, Honduras.

### **1. Introducción. Objetivos**

gvSIG-Fonsagua es una personalización de gvSIG para la planificación de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades rurales que implementa la metodología denominada Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico definida por la ONGD Ingeniería Sin Fronteras (ISF). gvSIG-Fonsagua está siendo usada actualmente en los municipios hondureños de Marcovia y San Francisco de Coray por ISF, la Alcaldía de Marcovia y la ONGD Save the Children en el marco de un programa de la AECID. Está además en un proceso de definición de requisitos para la realización de mejoras de modo que satisfaga las necesidades de otras entidades de El Salvador y Nicaragua.

SEXTANTE es una librería de análisis geoespacial con más de 300 algoritmos para el trabajo tanto con capas vectoriales como raster. En la actualidad sirve como fuente de elementos de análisis espacial a Sistemas de Información Geográfica, así como a otros programas tales como servidores WPS o herramientas ETL con capacidades espaciales.

SEXTANTE está enfocado a lograr una implementación y un uso sencillo de cualquier tipo de algoritmo de análisis espacial, buscando facilitar todo lo relativo a las tareas de análisis dentro de un SIG o aplicación relacionada. Es, por ello, una solución óptima para usuarios, docentes o desarrolladores que pretendan ampliar su alcance mediante el desarrollo de nuevos algoritmos. De entre los SIG que incorporan SEXTANTE, es de destacar gvSIG, ya que constituye la solución más completa y permite aprovechar en mayor medida la potencia de SEXTANTE. El uso conjunto de gvSIG y SEXTANTE permite llevar a cabo la gran mayoría de tareas necesarias

dentro de los más diversos ámbitos, constituyendo una herramienta global de gran productividad.

Dada la naturaleza modular de ambos elementos, resulta sencillo ampliar las capacidades del binomio gvSIG/SEXTANTE, adaptándolo a las necesidades particulares de cada entorno de trabajo. Este hecho constituye una de las características más destacables de SEXTANTE como librería de análisis, potenciada al unirse a gvSIG como aplicación SIG soporte.

Sin embargo se hace necesario asegurar el soporte del aplicativo gvSIG-Fonsagua a los usuarios del mismo en los proyectos de abastecimientos de Agua en Honduras. Y para esto se identifica un ente en Honduras al cual transferir capacidades mediante proyectos de cooperación interuniversitaria. Seleccionándose así el Departamento de Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica (CTIG) adscrito a la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES) de La Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) por ser esta la unidad académica básica y fundamental de la Universidad, que agrupa a una comunidad de profesores especializados en el campo de la Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica y el Ordenamiento Territorial, que trabajan organizadamente, en la docencia, la investigación, la vinculación con la sociedad, la asesoría y gestión académica.

En tal sentido los objetivos generales que se establecen por el presente proyecto son los siguientes:

- Identificar grupos de trabajo y personal investigador en todas las entidades que puedan participar en el establecimiento de vínculos de cooperación.
- Ejecución de un plan piloto de formación y capacitación en todas las entidades.
- Diseñar un plan de cooperación interanual, que incluya al menos una propuesta de trabajo futuro conjunto en el desarrollo de tecnologías de la información Geográfica aplicado a proyectos de gestión territorial, abastecimiento y saneamiento de agua.
- Transferencia de capacidades para el soporte y mejoramiento del aplicativo gvSIG-Fonsagua así como la incorporación de nuevos algoritmos de análisis espacial para SEXTANTE, producto del trabajo desarrollado con los usuarios en Honduras involucrados en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento en la zona sur de honduras.

## **2. Materiales y métodos**

De cara al cumplimiento de los objetivos, se desarrollarán las siguientes actuaciones y líneas de trabajo.

### ➤ Identificación de perfiles

La identificación de los equipos de trabajo de las tres universidades se realizó previamente al inicio del proyecto, considerando la iniciativa de las UDC y el contacto logrado con la UNEX y la UNAH.

### ➤ Transferencia de conocimiento inicial

Esta transferencia se realizará creando un espacio de intercambio de documentación entre la UNAH, UNEX y UDC, donde se depositarán los documentos técnicos relativos a las áreas de trabajo que centrarán el proyecto, y que ya quedará como repositorio durante el resto de fases. Se fijará un plan muy sintético de formación previa a la capacitación, en el cual se detallará qué documentación es necesaria consultar, y en qué orden.

Con el objetivo de facilitar esta transferencia, se pondrán a disposición herramientas de comunicación adecuadas, como listas de correos, o cualquier otro sistema que se considere necesario, y que estará en uso en todas las demás fases del proyecto.

➤ Capacitaciones en Honduras

Uno o dos miembros de la UDC y la UNEX se desplazarán a Honduras para realizar una capacitación con una duración que se prevé inicialmente en 6 semanas. El número de facilitadores y la duración de la formación dependerán del número de personas que acudan a la capacitación y del temario final que se acordará durante la fase de identificación de perfiles.

El contenido inicialmente propuesto es el siguiente:

- Introducción al Software Libre y la Tecnología para el Desarrollo Humano
- Gestión de proyectos y comunidades de Software Libre
- Introducción a la programación en Java y uso del IDE Eclipse
- Sistemas de control de versiones. GIT
- Introducción al GIS y al uso de gvSIG
- Introducción al uso de SEXTANTE
- Bases de Datos geográficas. PostGIS
- Introducción a la programación sobre gvSIG
- Introducción a la programación sobre SEXTANTE
- Formularios personalizados para gvSIG. NavtableForms

➤ Estancias en A Coruña y Plasencia

Dentro del equipo de desarrollo operativo del proyecto el equipo de dirección seleccionará dos perfiles técnicos que realizarán sendas estancias de trabajo en Cartolab y Plasencia, de forma concatenada.

El objetivo de la estancia es profundizar en la capacitación fortaleciendo tanto las capacidades técnicas de ambos equipos como el conocimiento de los ámbitos de trabajo, líneas de investigación y problemáticas particulares de ambas partes.

Cada estancia será tutorizada a nivel operativo por un técnico del equipo de desarrollo, y dirigida por un profesor responsable de la universidad correspondiente.

El periodo de estancia será de 4 meses, 2 en cada universidad española, y el plan de trabajo estará centrado en desarrollos sobre las áreas de trabajo propuestas en el proyecto. Las tareas específicas serán detalladas y definidas previamente al inicio de la estancia.

➤ Identificación de acciones interuniversitarias futuras

La última parte del proyecto será realizar una evaluación del desarrollo del mismo, que sirva como base para identificar líneas de acciones futuras.

A nivel de áreas de trabajo, actualmente Cartolab está preparando desarrollos en al menos tres países centroamericanos: El Salvador, Honduras y Nicaragua. En todos los casos se trata de ampliar y mejorar gvSIG-Fonsagua y gvSIG-Planes Manejo de Finca, sin descartar la posibilidad de abrir nuevos desarrollos. En estas áreas podría encuadrarse un plan de cooperación futuro, sin descartar aplicaciones concretas identificadas por el equipo de la UNAH.

La evaluación y la reflexión acerca de acciones futuras tendrán lugar mediante un encuentro presencial del equipo de dirección del proyecto, que se propone realizar en Honduras. Esto permitirá al equipo de coordinación de la UDC y de la UNEX conocer de manera más cercana las líneas de trabajo de la UNAH, establecer contactos con diferentes grupos de investigación así como con los organismos locales de cooperación, como la OTC de la AECID.

### **3. Resultados hasta la fecha**

Los resultados obtenidos hasta la fecha no son muchos ya que este proyecto recién fue concebido en Junio del 2011 y se presenta a la convocatoria de Programas de Cooperación Interuniversitarios (2011) de la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo en la modalidad de Acción Preparatoria. Sin embargo se ha estado desarrollando capacitaciones en

programación (con lenguaje Java) a los integrantes del equipo de apoyo científico y tecnológico en Honduras con el propósito de nivelar conocimientos previos al proceso de capacitación en Honduras por parte de las Universidades Españolas.

#### **4. Conclusiones**

La Acción Preparatoria propuesta por las tres universidades busca establecer un vínculo de cooperación estable entre departamentos técnicos relacionados con la Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica y la ingeniería cartográfica. Este vínculo sirve como herramienta de fortalecimiento científico y tecnológico en las tres universidades y facilita la identificación de actuaciones en materia de Cooperación al Desarrollo que posteriormente puedan ser llevadas a cabo por las partes.

Se busca la adquisición de capacidades en el ámbito del desarrollo de software para Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el entendido de que las Tecnologías de la Información Geográfica en la actualidad constituyen un vector clave de desarrollo y de mejora de la gestión territorial en todo el planeta.

El empleo de aplicaciones SIG realizadas en Software Libre permite comprender el funcionamiento interno del programa ampliando las posibilidades pedagógicas en ámbitos de enseñanza y el desarrollo de funcionalidades para un uso más eficaz de la aplicación o la implementación de los resultados fruto de investigaciones científicas en este ámbito. Además de las consabidas mejoras que acarrea el Software Libre.

#### **Agradecimientos**

Al equipo de desarrollo operativo del proyecto: Francisco Puga, Víctor Olaya, Yeny Castellano, Gonzalo Martínez. Al equipo de apoyo científico y tecnológico del proyecto: Rafael Corrales, Lilliam Gómez, Antonio Carias, Jorge López, Javier Estévez, Concepción Alonso Rodríguez, Marta Núñez. A Carmen Molejón por la gestión de enlace y apoyo para la concepción del proyecto. A las autoridades de La Universidade da Coruña (coordinadora del proyecto), La Universidad de Extremadura y La Universidad Nacional Autónoma de Honduras, por su disposición y colaboración en la gestión para la aprobación de este proyecto. Al programa de cooperación ESF en Honduras.

#### **Literatura citada**

Cartolab lanza la pagina web gvSIG Fonsagua para difundir el trabajo realizado. CartoLab, CartoWEB.

<http://cartolab.udc.es/cartoweb/blog/tag/cooperacion/>

GVSIG-Fonsagua. CartoLab, CartoWEB. <http://cartolab.udc.es/cartoweb/fonsagua/>

SIG LIBRES:SEXTANTE. Campusvirtual, UNEX.

<http://campusvirtual.unex.es/cala/cala/mod/resource/view.php?id=2713>.

## **4. CAB 2012: EXPERIENCIAS EN COSTA RICA**





## CLASIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA A TRAVÉS DE CLASIFICADORES EN ÁRBOL EN EL CANTÓN DE OSA, ZONA SUR DE COSTA RICA

Nur Algeet-Abarquero<sup>(1,2)</sup>, Miguel Marchamalo<sup>(2)</sup>, Juan G. Rejas<sup>(2,3)</sup>, Javier Bonatti<sup>(1)</sup>, Rubén Martínez<sup>(2)</sup>

(1) CICANUM, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [nuralgeet@gmail.com](mailto:nuralgeet@gmail.com)

(2) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid, España

(3) Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Madrid, España.

El estudio se ha llevado a cabo en el Cantón de Osa, situado en el Sur del Pacífico costarricense. El estudio multitemporal de los cambios en las coberturas vegetales en el suelo presenta un alto interés a la hora de entender las dinámicas tanto sociales como naturales de la región; además en el caso de este proyecto, es una información básica para una correcta modelización del comportamiento hidrológico de la zona de estudio.

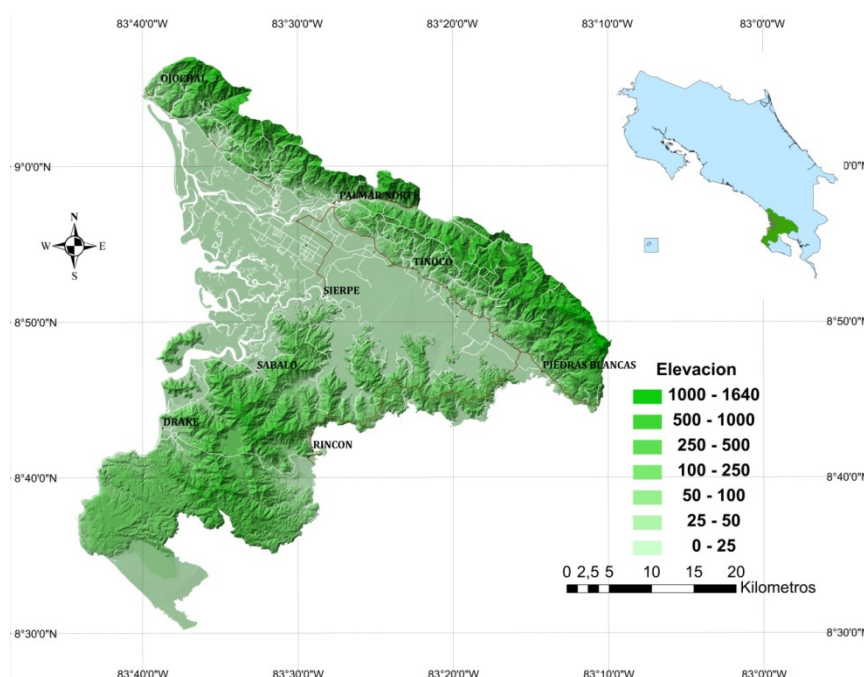


Figura 1. Área de estudio

### Imágenes disponibles y tratamiento preliminar

Para el estudio se han utilizado dos imágenes Landsat TM (órbita 14 y fila 54) del 17 de enero de 1987 y del 16 de febrero de 1998 y una imagen Landsat ETM+ (órbita 14 y fila 54) del 21 de enero de 2003. Las imágenes se escogieron por su calidad y baja cubierta de nubes, captadas todas durante la estación seca (Diciembre-Marzo). Las escenas se adquirieron con un nivel de proceso standard T1 a través del archivo del Centro EROS (Earth Resources Observation and Science Centre), perteneciente a la agencia USGS (United States Geological Survey). El proceso, tratamiento y clasificación de las imágenes se ha realizado con el software ENVI 4.1. Para el estudio se han utilizado las bandas 2, 3, 4, 5, 7 de cada una de las imágenes, además de las bandas resultantes de la transformación Tasseled Cap y Componentes Principales.

Las imágenes presentan una nubosidad que oscila entre el 4% (año 1998) y el 16% (años 1987 y 2003). Entre los diversos métodos propuestos en literatura para el tratamiento de esta nubosidad se ha optado por construir máscaras de nubes y sombras a partir de la metodología propuesta por Martinuzzi (2007).

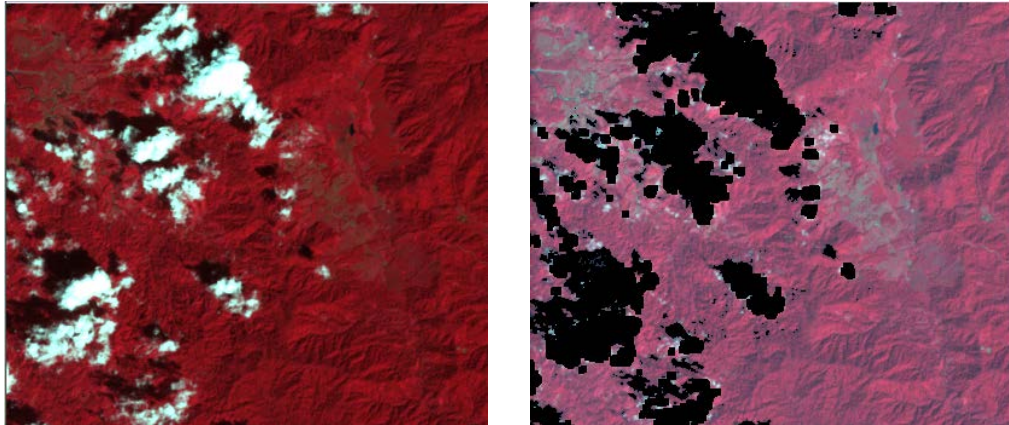


Figura 2. Imagen Landsat del año 2003. Derecha con nubes e izquierda tras la aplicación de la máscara.

### Clasificación a través de árboles de decisión

La metodología seleccionada para la clasificación de los usos del suelo ha sido el Clasificador en árbol que sin estar entre las metodologías más comunes de clasificación se ha venido usando de manera exitosa dada su versatilidad, simplicidad y eficiencia computacional avalada por estudios como el de Friedl y Brodley (1997) o Hansen et al (2000). La información utilizada en la clasificación aparece recogida en la Figura 3.

Nubes y Sombras	•Imagen Landsat
Aguas continentales	•Transformación Tasseled Cap
Urbano y Terreno desnudo	•Transformación Tasseled Cap
Manglar	•Transformación Tasseled Cap •Modelo Digital del Terreno
Otros Humedales	•Análisis de Componentes Principales •Modelo Digital del Terreno
Pastizal de gramíneas	•Análisis de Componentes Principales
Cultivos permanentes	•NDVI •Modelo Digital del Terreno •Transformación Tasseled Cap
Plantaciones forestales	•Información temática
Otras formaciones arbóreas (Bosque)	

Figura 3. Bandas e información utilizadas en cada uno de los nodos del árbol de clasificación

### Resultados de la Clasificación

Se obtuvieron 3 mapas que recogen la distribución de las coberturas de la tierra para cada una de las fechas estudiadas. Se ha validado la clasificación del año 2003 a partir de unas ortofotos disponibles del año 2005, sobre las que se seleccionaron 117 puntos de control. La correcta fotointerpretación de las cubiertas se validó en campo a través de visitas con GPS e informadores locales. La matriz de confusión generada a partir de estos puntos proporciona

una precisión global de la clasificación de 78,68% y un índice Kappa de 0,75, valores dentro de un rango similar al de otros trabajos con imágenes Landsat. El cambio en las coberturas entre el año 1987 y 2003 se ha discutido a través de la matriz de cambio elaborada en el Software ENVI 4.1.

Según esta matriz los mayores cambios aparecen en la cobertura terreno desnudo y pastos. No se ha encontrado en literatura ninguna justificación para el cambio de la primera, por lo que las teorías que se barajan para este dato son varias; como se puede apreciar en la figura 3 la superficie total de terreno desnudo entre las dos fechas no varía considerablemente, sin embargo, tan solo es un 23% de superficie la que mantiene esta cobertura constante. Esto puede ser debido a la presencia dentro de esta clase en el año 1987 de terrenos cultivados con hortalizas y otros cultivos de huerta que dan una cobertura muy baja y que aún existían en la zona en ese año. En 2003 sin embargo, estos cultivos habían desaparecido de manera general, sin embargo había ya más hectáreas plantadas de arroz (Royo, 2009) que en esta estación del año presentan una cobertura casi nula del terreno. En cuanto a la cobertura pascícola la matriz muestra la alta disminución en área a favor de la cobertura boscosa, que concuerda con el abandono de la actividad ganadera apuntado por otros autores (p.ej. Royo, 2009).

**Tabla 3. Matriz de cambio de cobertura de la tierra entre los años 1987-2003**

Porcentaje	BOSQUE	DESNUDO	MANGLAR	HUMDEAL	PASTOS	CULTIVOS
	Clase 2	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9
<b>Sin clasificar</b>	2.057	9.898	2.179	2.176	4.599	4.925
<b>Clase 2</b>	83.432	15.335	4.336	31.240	44.398	7.163
<b>Clase 5</b>	1.593	23.769	1.042	0.848	1.633	2.267
<b>Clase 6</b>	0.137	1.920	88.841	2.613	0.063	0.687
<b>Clase 7</b>	1.358	1.352	3.263	52.294	0.386	2.968
<b>Clase 8</b>	7.151	20.781	0.012	1.768	36.814	9.552
<b>Clase 9</b>	4.272	26.945	0.327	9.061	12.108	72.437
<b>Cambios en Clases</b>	16.568	76.231	11.159	47.706	63.186	27.563
<b>Diferencia Imagen</b>	16.363	0.670	16.493	-30.024	-44.019	268.976

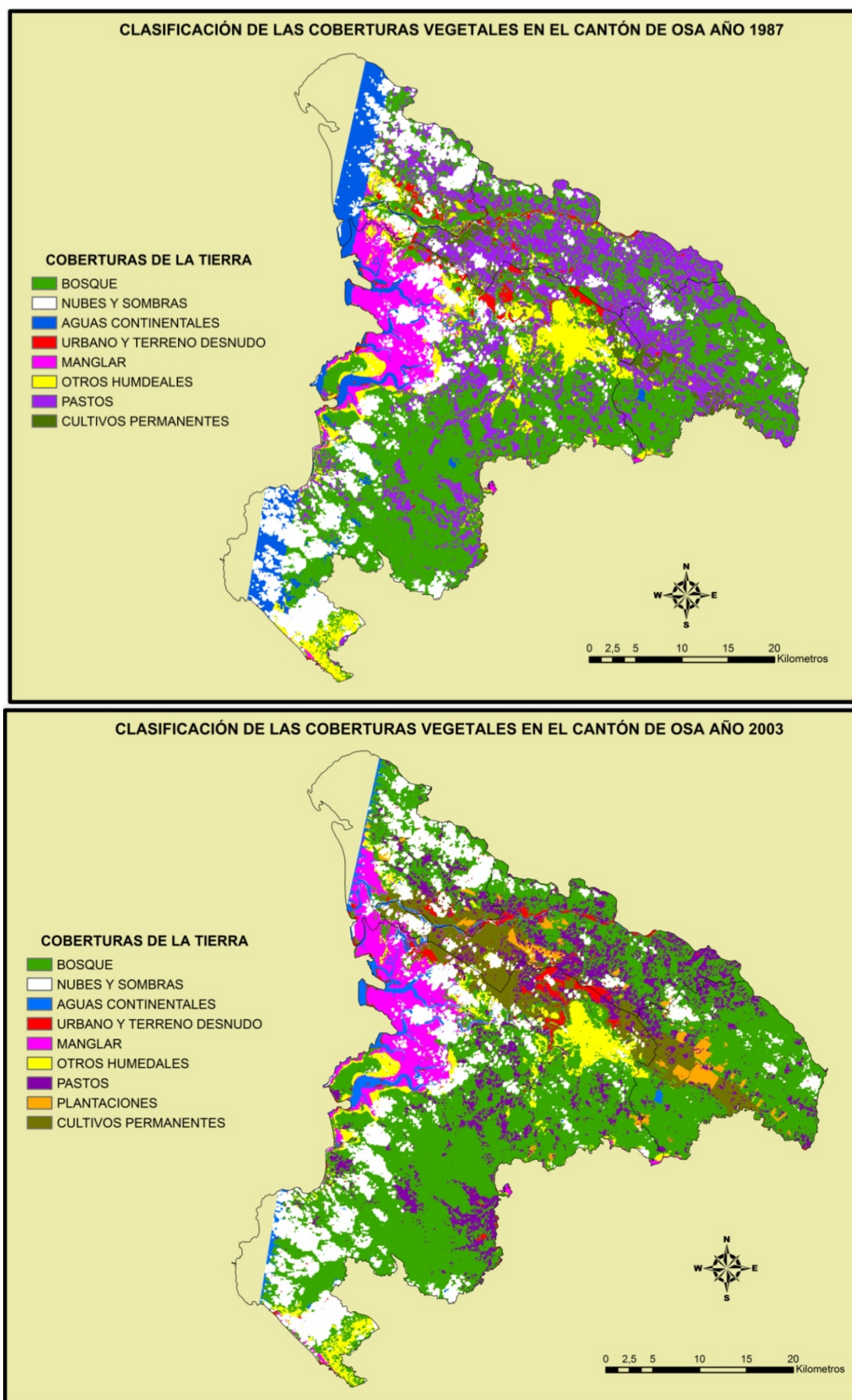


Figura 4. Mapas de coberturas de la tierra años 1987 y 2003.



La cobertura boscosa es la que presenta la recuperación más fuerte dentro del periodo de estudio, mientras que las zonas pascícolas muestran el retroceso más acusado. Esta recuperación de terrenos boscosos además de las causas ya presentadas puede también estar relacionada con las iniciativas ecoturísticas y conservacionistas que dentro del cantón están promoviendo la creación de reservas privadas, la incorporación de fincas al programa gubernamental de “Pago por Servicios Ambientales” y otras iniciativas privadas similares (Sanchez-Azofeifa, 2001).

El aumento de la superficie de terreno desnudo en el año 1998 por un lado es posible que se deba a una estación seca más marcada que en otros años, lo que hubiera provocado el aumento de terreno desnudo que se recoge en este trabajo, ya que es un terreno que en 2003 aparece en la clase pasto y cultivos principalmente. En relación a esto es además posible pensar que durante este momento se estuviera procediendo a la plantación de la superficie que en 2003 presenta la cobertura de cultivo permanente.

La disminución en área de la clase humedal en el año 1998 podría haber sido causada igualmente por una época seca más dura que hubiera dejado el suelo seco y por tanto la banda wetness de la transformación Tasseled cap no recoge todo el área.

La evolución del manglar, aunque presenta pequeñas variaciones, no se corresponde del todo con las reseñadas por otros autores que encontraron pérdidas en la superficie del manglar Térraba-Sierpe de 500 ha entre 1986 y 1997 (Calvo, 1996) o que cifran la superficie del manglar en 1998 en 14.600 ha (Lizano, 2001) algo superior al valor encontrado en este estudio (12.348ha).

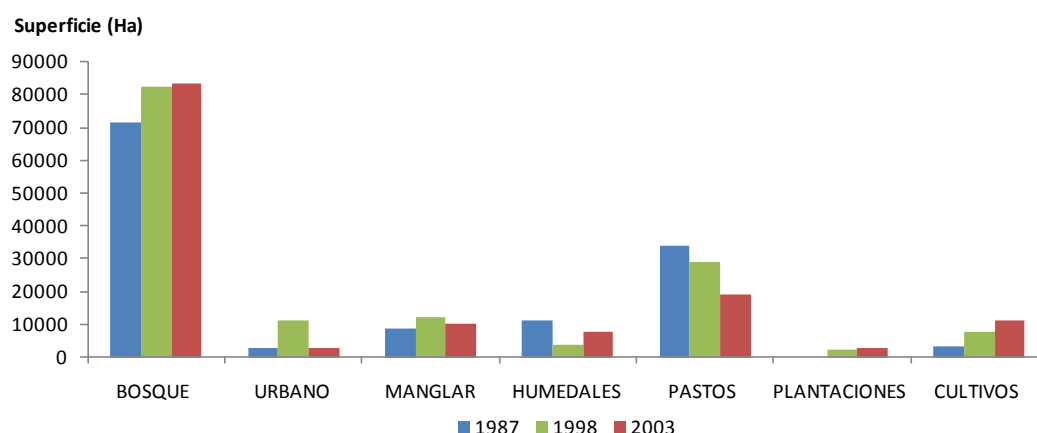


Figura 5. Evolución de la superficie ocupada por las principales coberturas de la tierra en el periodo 1987-2003.

## Conclusiones

Las imágenes Landsat son de gran interés para el estudio multitemporal de cubiertas debido a su relativa alta resolución aunque la información espectral resulta limitada para la caracterización de cubiertas tropicales. Los resultados obtenidos muestran sin embargo el interés de esta técnica de clasificación en árbol en zonas tropicales, donde clasificaciones tradicionales de estas imágenes, ya sean supervisadas o no supervisadas presentan limitaciones importantes debido a la heterogeneidad tanto espectral como espacial de las cubiertas como han reseñado también otros trabajos en este tipo de ecosistemas.

Los resultados de este trabajo se esperan mejorar a partir de la incorporación de imágenes con más información espectral (Aster, MAster, HyMap) y mayor rango temporal que sirvan para modelizar el comportamiento hidrológico actual de la región.

### **Literatura citada**

- BARRANTES G, VEGA M. 2002. El servicio ambiental hídrico. Aspectos biofísicos y económicos. Instituto de Políticas para la Sostenibilidad. Heredia. Costa Rica 56 pp.
- FRIEDL MA, BRODLEY CE. 1997. Decision Tree Classification of Land Cover from Remotely Sensed Data. *Remote Sens. Environ.* 61:399-409.
- HANSEN MC, DEFRIES RS, TOWNSHEND JRG, SOHLBERG R. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21:6, 1331 — 1364
- MARTINUZZI S, GOULD WA, RAMOS O. 2007 Creating Cloud-Free Landsat ETM+ Data Sets in Tropical Landscapes: Cloud and Cloud-Shadow Removal. General Technical Report IITF-GTR-32. USDA.
- LIZANO O, AMADOR J. 200). Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. *Rev. Biol. Trop.* 49. Supl. 2: 331-340.
- ROYO A. 2009. Crisis de Dependencia en la Zona Sur. Desarrollo Agrario y migraciones internas en el cantón de Osa. 1973-2000. CIHAC. Costa Rica. 235 pp.
- SÁNCHEZ-AZOFEIFA AG, HARRISS R, SKOLE D. 2001. Deforestation in Costa Rica: A Quantitative Analysis Using Remote Sensing Imagery . *Biotropica*, Vol. 33, No. 3, pp. 378-384.

## **METODOLOGÍAS PARA MEDICIÓN EN CAMPO DEL EFECTO DE LAS COBERTURAS VEGETALES SOBRE EL CICLO DEL AGUA: CUENCA EXPERIMENTAL RÍO TINOCO**

Nur Algeet-Abarquero<sup>(1,2)</sup>, Miguel Marchamalo<sup>(2)</sup>, Javier Bonatti<sup>(1)</sup>, Rubén Martínez<sup>(2)</sup>

(1) CICANUM, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. [nuralgeet@gmail.com](mailto:nuralgeet@gmail.com)

(2) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid, España

### **Introducción**

Durante los últimos años se ha generado un gran interés a nivel global por la conservación del medio natural y el desarrollo sostenible. Estos temas revisten especial importancia en zonas de Centroamérica donde se aúnan una rica biodiversidad con problemas de desarrollo y de sobreexplotación de recursos, especialmente el agua.

La escasez de agua es probablemente el principal problema al que se enfrentan las poblaciones rurales del Pacífico centroamericano, como resultado de una continua degradación de los recursos, primero por el aumento demográfico, la sobreexplotación y la falta de planes de gestión y ordenamiento de los usos. El estudio de esta problemática abarca por tanto la comprensión del ciclo hidrológico y el ciclo hidrosocial o administración social del recurso (Barrantes y Vega, 2002).

En la actualidad, los estudios relacionados con el ciclo hidrológico y el manejo integral de cuencas se fundamentan en estimaciones de parámetros y mediciones basadas en trabajos en otros países con situaciones ecológicas y socioeconómicas distintas. Se considera por ello necesario generar parámetros calibrados directamente en Centroamérica, que se adecúen a las condiciones actuales evitándose así problemas de sobreestimación de tasas, mejorando la adecuación y viabilidad de proyectos de cooperación sobre el terreno.



**Figura 1. Distintos usos del suelo en Costa Rica.**

### **Zona de estudio**

EL cantón de Osa presenta una de las poblaciones más rurales dentro del país a la vez que presenta un de los índices de desarrollo más bajos (Royo, 2009), lo que ha movido al estado a invertir de manera específica en la región. Esto, unido al reciente despunte del sector turístico en la zona hace pensar en unos importantes cambios en los usos del suelo en un futuro cercano.



Se han seleccionado inicialmente dos cuencas pilotos en el pacífico costarricense (Figura 2) que se pretende sean el laboratorio donde evaluar las metodologías y técnicas que después se divulgarán para su aplicación sobre otras cuencas de la región. Estas dos cuencas se encuentran en la formación de la Fila Costeña, que alberga la totalidad de las zonas de captación de agua del cantón: una presenta una cubierta de bosque tropical húmedo (Quebrada Benjamín, Palmar Norte) mientras que la otra cuenta con el mosaico característico de cubiertas en la fila Costeña; pequeños terrenos con cultivos arbóreos permanentes o plantaciones forestales, pastos en un estado de degradación avanzado por sobre pastoreo y manchas de bosque en áreas menos accesibles (Río Tinoco, San Francisco).

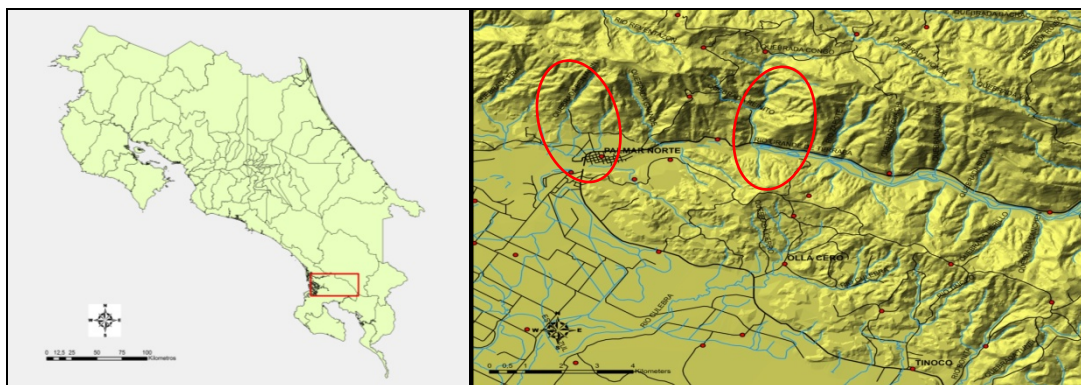


Figura 2. Situación de las cuencas piloto en Costa Rica.

### Diseño experimental

Se han replanteado parcelas experimentales sobre los usos del suelo más importantes (bosque, pasto, plantación forestal y plantación de palma aceitera) que se instrumentarán de manera automática con el fin de conocer el comportamiento del agua bajo cada una de las cubiertas y las características específicas de los suelos. Las variables que se medirán en campo son:

Escurrimiento superficial y humedad de suelo: en las parcelas experimentales se han instalado medidores de contenido volumétrico de agua en el suelo así como un dispositivo de medición de escurrimiento para evaluar las diferencias entre los usos más importantes identificados en la zona.

Precipitación: Se ha instalado un pluviómetro en cada una de las cuencas de estudio.

Evapotranspiración: Se ha instalado una torre en el bosque situado en la parte alta de la cuenca del río Tinoco para medir las variables necesarias para computar balances energéticos a través del método Bowen Ratio.

Caudal: Se han instalado dos sensores de nivel, uno en cada una de las cuencas de estudio.

Para la caracterización de los suelos en cada una de las cuencas (mayoritariamente entisoles) se están llevando a cabo estudios detallados a través de calicatas y muestreos superficiales que se analizan conjuntamente con el laboratorio de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.



Figura 2: Detalle de las parcelas de escurrentía.

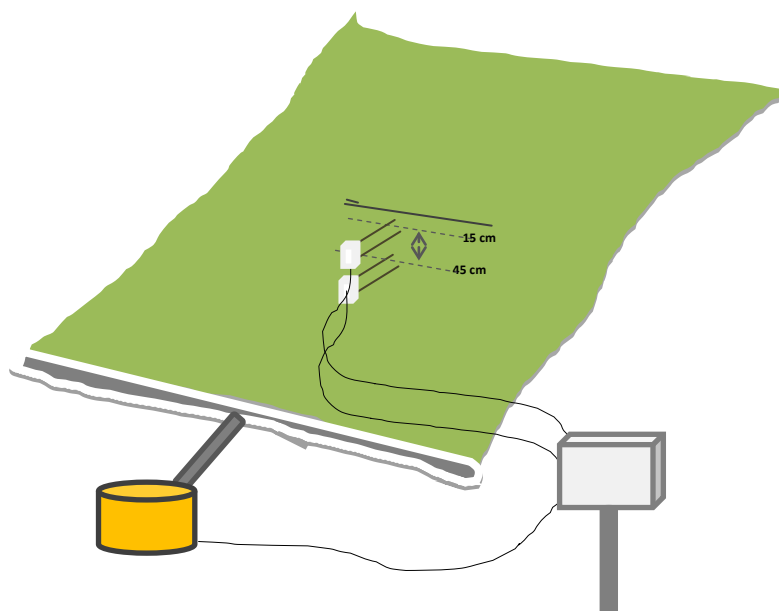


Figura 3: Esquema de la parcela experimental

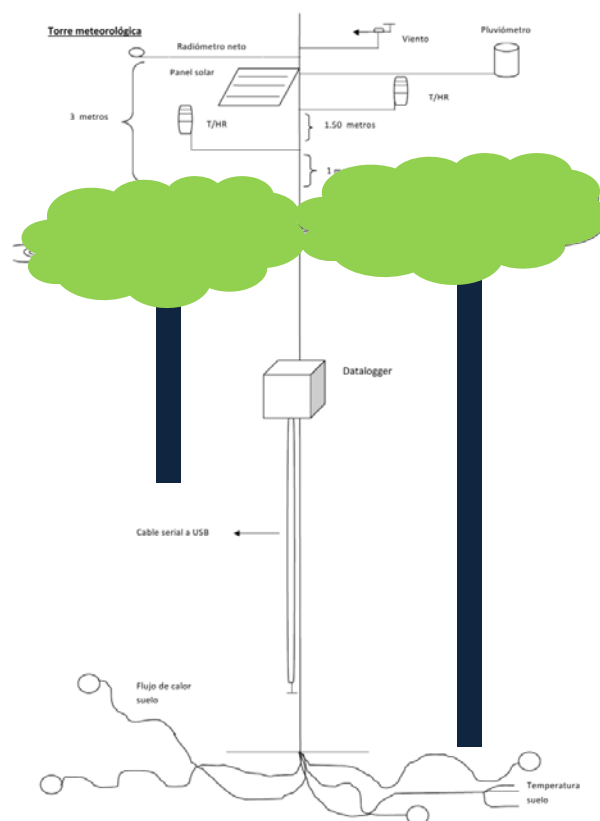


Figura 4: Esquema de la torre meteorológica.

## MANEJO DE COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN: ESTUDIO DEL FACTOR VEGETACIÓN DEL MODELO RUSLE EN LA CUENCA DEL RÍO BIRRÍS, COSTA RICA (\*)

Elena Lianes<sup>(1)</sup>, Miguel Marchamalo<sup>(1)</sup>, Margarita Roldán<sup>(2)</sup> y Carolina Martínez<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid. España [elena.lianes@upm.es](mailto:elena.lianes@upm.es)

(2) Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, España.

### Abstract

This work contributes to increase the knowledge about the relations between vegetation cover and soil erosion obtaining technical coefficients based on field data for the RUSLE model. The studied watershed produces high erosion rates, mainly due to the decrease of forest cover, land misuses and changes in the drainage network, causing damage in the hydropower, agricultural and pasture production. Values of RUSLE C factor were determined for the different vegetation covers. C factor varies considerably between agricultural cover,  $C = (0,3 - 0,4)$ , and the other vegetation covers,  $C = (0,002 - 0,04)$ . Agricultural factor C was calculated for the different phases of the crop ( $SLR_{crop \text{ phase}}$ ). The implementation of integrated management practices is recommended for soil and water conservation taking into account the vegetation cover proposals that better protect the soil based on the results of the present work.

**Palabras Clave:** cobertura vegetal, erosión, factor C, modelo RUSLE, Costa Rica.

### 1. Introducción. Objetivos

La cuenca del río Birrís es de carácter prioritario para el país tanto por su producción agrosilvopastoral como hidroeléctrica. Por ello, se han llevado a cabo estudios sobre la erosión de la cuenca, que ha sido estimada por varios estudios, presentando valores promedio elevados, próximos a 50t/ha/año (ICE 1999; CATIE 2003; Marchamalo 2004), así como sobre las tasas de sedimentación. Sin embargo no hay estudios específicos sobre el papel de la cobertura vegetal y su influencia en esos procesos. Este trabajo se centra en ello, ya que la cubierta vegetal es el elemento natural de protección del suelo contra la erosión y que se puede modificar en un periodo relativamente corto de tiempo mediante la ordenación del territorio.

La revisión de la original ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) dio lugar a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), basándose en la puesta al día de los distintos factores que integraban la ecuación original (Wischmeier y Smith, 1978) y la aplicación de teorías más actuales sobre procesos de disgregación, transporte y sedimentación de las partículas arrancadas del suelo, bien por el impacto de las gotas de lluvia, bien por la escorrentía superficial, tanto laminar como en regueros (Renard *et al.*, 1997). La ecuación básica del modelo USLE fue publicada en el número 282 de la revista *Agriculture Handbook* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos por Wischmeier y Smith en 1965, y desde entonces ha conservado su formulación básica en las revisiones posteriores: USLE (Wischmeier y Smith, 1978) y RUSLE (Renard *et al.*, 1997). Dicha ecuación para la estimación de las pérdidas medias de suelo como consecuencia de la erosión hídrica laminar y en regueros es la siguiente:

---

(\*) NOTA: Este trabajo forma parte del trabajo final de graduación de la primera autora para optar al título de Ingeniera Forestal por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Así mismo, el trabajo ha sido publicado en la revista *Agronomía Costarricense* (33(2):217-235.2009) y presentado en Congresos.

$A = R * K * L * S * C * P$ , donde:

$A \left( \frac{t}{ha * año} \right)$  : pérdidas de suelo anuales por unidad de superficie;

$R \left( \frac{hJul}{m^2} * \frac{cm}{h} \right)$  : factor erosividad de la lluvia;

$K \left( \frac{t}{ha} * \frac{m^2 * h}{hJul * cm} \right)$  : factor erodabilidad del suelo;

L (adimensional): factor longitud de ladera;

S (adimensional): factor pendiente;

C (adimensional): factor vegetación;

P (adimensional): factor de prácticas de conservación de suelo.

La cobertura vegetal está representada en la ecuación por el factor vegetación o factor C. El factor C se emplea en USLE y RUSLE para reflejar los efectos del cultivo sobre las tasas de erosión y es el factor empleado normalmente para comparar el impacto de los escenarios de usos del suelo en los planes de ordenación territorial de cuencas. El factor C relaciona la pérdida de un suelo en un área que presenta cierto tipo de cobertura vegetal con la que se produce en condiciones idénticas a la estándar en USLE, es decir bajo barbecho continuo. Es adimensional y su valor varía entre 0.001 en bosque denso y 1 en suelo desnudo. Además de depender del tipo de cubierta vegetal, es función de la época de la cosecha y de las técnicas de cultivo que se apliquen. El factor C puede ser variado con relativa rapidez mediante la aplicación de cambios de uso del suelo o de las técnicas de cultivo.

El objetivo del trabajo es incrementar el conocimiento sobre el potencial de conservación de suelos y aguas en cuencas mediante la evaluación sobre el terreno de la respuesta hidrológica de los diferentes tipos de cobertura del suelo en la cuenca del río Birris (Costa Rica) como aporte para la generación de alternativas de uso de la tierra compatibles con la economía local y adaptadas al cambio global.

A partir de los resultados, se proponen alternativas para el manejo de las cubiertas vegetales más eficaces en la protección del suelo contra la erosión. Esos valores pueden ser empleados para estimar los valores de la erosión potencial y producción de sedimentos para evaluar el efecto de diversas medidas de conservación de suelos y aguas.

## 2. Materiales y métodos

La cuenca del río Birris pertenece a la del río Reventazón, situada entre las coordenadas geográficas 83° 78' - 83° 86' de longitud oeste y 9° 89' - 9° 98' de latitud norte en Costa Rica (América Central). Comprende una superficie de 4.802 hectáreas, entre 1.200 y 3.400 metros sobre el nivel del mar, regida por condiciones climáticas de la Vertiente Atlántica con transición al clima del Valle Central. Presenta suelos de origen volcánico, clasificados como andisoles. En la zona alta de la cuenca existe mayor cobertura forestal que en la zona media y baja donde queda limitada a las nacientes y a la franja de ribera, donde la pendiente imposibilita el uso agropastoral, el resto de la superficie está cubierta por pastos y cultivos agrícolas. El uso actual de la cuenca en porcentaje de superficie se reparte en bosque (28%), pastos (35%), cultivos (32%) y otros (5%) (Marchamalo 2004).

Se muestrearon veinte parcelas, realizando cinco réplicas en cada parcela, representando un total de cien puntos de muestreo; agrupadas según los tres tipos de cobertura de la cuenca: (1) arbórea: bosque natural, bosque degradado, frutal joven, frutal maduro; (2) con pastos: pasto

de corta o pasto de siega, potrero o pasto de diente; (3) con cultivos: papa, zanahoria y brócoli, en cuatro estados: recién sembrado o plantado, tras el aporcado, en plena cobertura, tras el arranque o cosecha. En cada parcela se midió la fracción de la cubierta aérea, altura efectiva, fracción de la cubierta del suelo y rugosidad.

Para el cálculo del factor C, y de sus subfactores, se aplicaron las ecuaciones de RUSLE (Renard *et al.* 1997) y una hoja de cálculo de elaboración propia. El factor C según la última formulación de Renard *et al.* (1997) se expresa como una media ponderada anual de los ratios de pérdida de suelo comparado con condiciones estándar (SLR) para cada intervalo de tiempo ponderados por la erosividad acumulada del citado período (EI total) según la expresión:  $C = (SLR_1 \cdot EI_1 + SLR_2 \cdot EI_2 + \dots + SLR_n \cdot EI_n) / EI_t$ , donde:

C: es el valor anual promedio del factor C;

SLR<sub>i</sub>: son los valores del ratio de pérdida de suelos para el período i;

EI<sub>i</sub>: es el porcentaje de erosividad anual que ocurre durante este período; n: número de períodos de cambio de cobertura;

EI<sub>t</sub>: erosividad total anual (R).

Para el cálculo de los ratios de pérdida de suelo (SLR) de cada período Renard *et al.* (1997) recomiendan emplear la formulación de Laflen *et al.* (1985):  $SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM$  donde los subfactores son los siguientes: PLU: uso previo de la tierra; CC: cubierta del dosel; SC: cobertura del suelo

SR: rugosidad de la superficie; SM: humedad del suelo. Cada uno de estos subfactores puede calcularse a partir de variables del cultivo o uso del suelo a que correspondan o estimarse a partir de tablas y gráficos presentados por Renard *et al.* (1997). Estos autores recomiendan calcular estos factores quincenalmente, lo cual implica también realizar disponer de bases de datos climáticas para hacer el cálculo de las erosividades asociadas a estos períodos quincenales.

La erosividad de lluvia fue facilitada por el ICE (Gómez, 2007). El factor C de las parcelas agrícolas se calculó para las rotaciones actuales y para alternativas propuestas que tienen como objeto promover los estados del cultivo más protectores en los momentos más críticos de erosividad pluvial. El orden de los cultivos de las rotaciones alternativas se contrastó con los técnicos de la zona, Molina (2007), para ser compatibles con las preferencias de los productores.

### 3. Resultados y discusión

Los valores del subfactor cubierta en contacto con el suelo, SC, muestran la eficacia de ésta en la protección del suelo así como su importancia en los valores del factor C de las diferentes cubiertas.

Los resultados obtenidos de SLR de los diferentes estados de cultivo se presentan en la Tabla 1. Su cálculo es posible ya que en la cuenca de estudio los estados del cultivo se presentan, en distintas fincas, a lo largo de un año; no representan que ese estado del cultivo permanezca invariable a lo largo de un mismo año en un mismo sitio. Cabe destacar su utilidad en otras zonas donde las prácticas agrícolas para un tipo determinado de cultivo sean las mismas que las de la cuenca de estudio, como en otras zonas de la región centroamericana, teniendo en cuenta que el valor final del factor C se vería influenciado por la distribución del factor R, erosividad de la lluvia, de la zona concreta de estudio.

**Tabla 1. Ratios de pérdida de suelos (SLR) de los diferentes estados del cultivo.**

Cultivo	1.Sembrado o plantado	2.Aporcado	3.Plena cobertura	4. Cosecha
Papa	0,731	0,270	0,122	0,522
Zanahoria	0,990	0,316	0,051	0,081
Brócoli	0,735	0,171	0,034	0,015

Los SLR de los diferentes estados de cultivo muestran que la pérdida potencial de suelo en los cultivos agrícolas varía según su estado de desarrollo y el porcentaje de suelo desnudo expuesto a la acción erosiva. En el desarrollo del cultivo, desde el estado de la siembra o la plantación, fase más vulnerable ante la erosión, hasta llegar al crecimiento máximo, su cobertura aumenta disminuyendo el SLR (Tabla 1). Los SLR tras la cosecha (Tabla 1) muestran la influencia del modo en que ésta se realiza, muy relacionada con el porcentaje de cubierta vegetal en contacto con el suelo que dejan tras la cosecha. Por ello, los cultivos tienen una función protectora estacional.

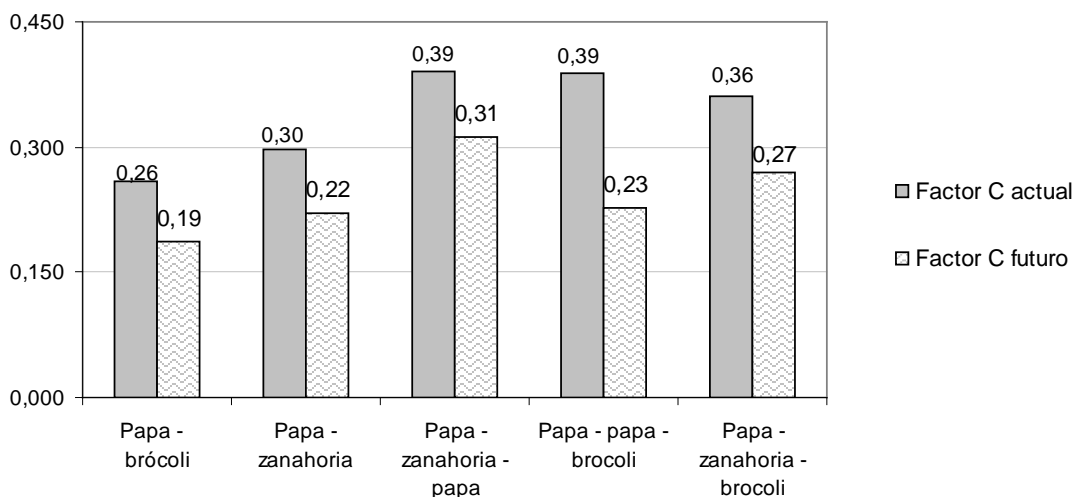
Los factores C calculados en este estudio están basados en datos recogidos de campo y en la formulación original de RUSLE. En estudios anteriores desarrollados en esta misma cuenca (FAO 1989; ICE 1999; Saborío 2002; Gómez 2002; CATIE 2003; Marchamalo 2004) se utilizaron tablas adaptadas a partir de las de USLE. Cabe destacar que la aplicación de la metodología original de RUSLE en campo y formulación, ha permitido acotar los valores de los factores C agrícolas. Así pues, los resultados del factor C de los cultivos anuales en la cuenca de estudio presentan valores del factor C, máximos de 0,4, notablemente menores que los usados en dichos estudios. Los pastos de diente o potreros proporcionan una protección eficiente del suelo cuando son aprovechados adecuadamente (Tabla 2), y de orden similar al bosque natural. No obstante, un bosque con sotobosque, contribuye a incrementar la infiltración más que una cubierta herbácea, con lo que disminuye la escorrentía superficial con la consecuente disminución del potencial de erosión hídrica (Ríos *et al.* 2007). En las cubiertas forestales el incremento de la infiltración puede ayudar a mejorar la recarga de los acuíferos y al mantenimiento del caudal base de los ríos, sobre todo en la época de estiaje (Marchamalo 2004). Además, la cobertura arbórea provee distintos servicios ambientales entre los cuales se destacan la protección de la cuenca y la regulación del ciclo hidrológico (Ríos *et al.* 2007). En conjunto se verifica la importancia del bosque tanto por la protección del suelo contra la erosión como por su respuesta hidrológica.

Respecto al valor similar del potrero en carga normal y el potrero degradado (Tabla 2) se debe a que ambos presentan una cobertura casi completa, aunque el potrero degradado tiene una carga ganadera mayor que produce la compactación del suelo la cual está compensada por la alta rugosidad del escalonamiento característico.

**Tabla 2. Factor C de los tipos de cubierta en la cuenca del río Birrís, Costa Rica.**

Cobertura		Factor C
Bosque	Bosque natural	0,003
	Bosque degradado	0,037
Pastos	Pasto de corta o pasto de siega	0,012
	Potrero carga normal	0,002
	Potrero degradado	0,002
	Potrero muy degradado	0,016
Cultivos permanentes	Árboles frutales	0,003
Cultivos anuales	Papa- brócoli	0,260
	Papa-zanahoria	0,300
	Papa-zanahoria-papa	0,390
	Papa-papa-brócoli	0,390
	Papa-zanahoria-brócoli	0,360

Los factores C para el pasto de corta y el pasto de diente o potrero en aprovechamiento adecuado toman valores aproximadamente iguales (Tabla 2). No obstante el pasto de corta proporciona importantes servicios hidrológicos, como son su efecto favorable global sobre las variables hidrológicas reduciendo la escorrentía en un 73 % y la erosión en un 57% respecto del potrero tradicional (Marchamalo 2004).


**Figura 1. Factor vegetación (C) de los tipos de cubierta variable con el tiempo (cultivos anuales en diferentes rotaciones) en la cuenca del río Birrís**

Las propuestas de nuevas rotaciones de cultivo resultan mejores que los regímenes actuales (Fig.1), obteniéndose factores C menores que con las rotaciones actuales. Así, manteniendo el resto de factores de la RUSLE invariables, se disminuyen las pérdidas de suelo potenciales entre un 20 hasta un 40%. Las rotaciones propuestas permiten una ordenación del territorio sin cambio de uso, sino con ciertas limitaciones temporales y con la aplicación de nuevas tecnologías de cultivo conservacionistas. Se va a aplicar un esquema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la cuenca del río Birrís con el fin de compensar a los productores por las posibles disminuciones de productividad que se produzcan por la adopción de medidas conservacionistas de suelos y aguas. Estos fondos, provenientes de una tarifa ambiental del agua y de la hidroelectricidad, permitirán compensar a los productores que conserven el suelo y agua.



#### **4. Conclusiones**

Se recomienda que los planes de manejo que apliquen los fondos del PSA incluyan las siguientes propuestas respecto a las cubiertas vegetales. Estas propuestas deberán ser avaladas con un estudio socioeconómico y con un estudio de áreas prioritarias de aplicación de dichos planes según la producción de sedimentos;

- Favorecer los usos forestales y pascícolas frente a los cultivos anuales;
- Favorecer los pastos de corta frente a los pastos de piso o de diente;
- En cultivos permanentes favorecer la cobertura en contacto con el suelo.
- En cultivos agrícolas: aumentar la cobertura en contacto con el suelo en las etapas críticas del cultivo, como por ejemplo evitar el uso de herbicidas antes de la cosecha de la patata; y ordenar temporalmente los cultivos, de manera que en los momentos de mayor erosividad pluvial la cubierta en contacto con el suelo sea máxima.

#### **Agradecimientos**

A los productores de la cuenca de estudio. A los profesionales de CATIE, CIA-UCR, MAG, MINAE, ICE y UPM que han compartido su conocimiento y apoyado el desarrollo de esta investigación. Los autores han contado con el financiamiento y apoyo de la Universidad Politécnica de Madrid (becas PFC en Cooperación), y los proyectos Trofcca y PCI-AECID (Mejora de la eficiencia de captación y recarga de sistemas de abastecimiento de agua en Centroamérica).

#### **Literatura citada**

- CATIE. 2003. Plan de acción 2004-2013 para el manejo de las subcuencas tributarias del sistema hidroeléctrico Birrís. Turrialba. Costa Rica.
- FAO. 1989. Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Areas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133.
- GÓMEZ F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Trabajo de Graduación: Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191.
- GÓMEZ F. 2007. Erosividad de la lluvia para las estaciones meteorológicas de Cachí y Sanatorio Durán, 1999 - 2006. Instituto Costarricense de Electricidad, ICE. San José, Costa Rica. Sin publicar.
- ICE. 1999. Plan Integral de Manejo de la Cuenca del Río Reventazón. Instituto Costarricense de Electricidad. San Jose, Costa Rica. 550.
- LAFLEN JM, FOSTER GR, ONSTAD CA. 1985. Simulation of individual- storm soil loss for modeling the impact of soil erosion on crop productivity. In S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, and A. Lo, eds., Soil Erosion and Conservation, pp. 285-295. Soil Conserv. SOC. Am., Ankeny, Iowa.
- MARCHAMALO M. 2004. Ordenación del territorio para la producción de servicios ambientales hídricos. Aplicación a la cuenca del Río Birrís (Costa Rica). Universidad Politécnica de Madrid. España. 409.
- MOLINA B. 2007. Comunicación personal: usos de la tierra en la cuenca del río Birrís. Agencia de Extensión Agropecuaria del Ministerio de Agricultura en Pacayas. Pacayas, Costa Rica.
- RENARD KG, FOSTER GR, WEESIES GA, MCCOOL DK, YODER DC. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook 703. US Government Printing Office. Washington DC. 384.
- RÍOS N, CÁRDENAS AY, ANDRADE HJ, IBRAHIM M, JIMÉNEZ F, SANCHO F, RAMÍREZ E, REYES B, WOO A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo (Nicaragua, Costa Rica). Agroforestería Américas, 45: 66-71
- SABORÍO, J. 2002. Informe final: Estudio erosión potencial, cuenca del río Savegre, Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica. 41.
- WISCHMEIER WH, SMITH DD. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 282. 47 pp.
- WISCHMEIER WH, SMITH DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537. 58 pp.

## LAS PLANTACIONES FORESTALES COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Jesús Fernández Moya<sup>(1,2)</sup>

(1) Departamento de Silvopascicultura, Universidad Politécnica de Madrid, España, [jesusfmoya@gmail.com](mailto:jesusfmoya@gmail.com)

(2) Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Las plantaciones forestales se han incrementado en los últimos años y ya suponen un 7% del área total mundial forestada (264 millones de ha), lo cual ha incrementado significativamente el área forestada a nivel mundial (FRA, 2010). En Costa Rica, las plantaciones forestales ocupaban alrededor de 45.000 ha en el año 2005 (Arce y Barrantes 2006). Esta superficie es muy probable que se haya incrementado en estos últimos años ya que la producción de madera en el país ha aumentado y ésta se basa en un 75% en las plantaciones forestales (Barrantes et al. 2009).

En Costa Rica, según Arias (2004), las plantaciones forestales:

- *“además de producir importantes servicios ambientales (fijación de carbono, protección de suelo y agua, mejora del paisaje), genera mucho empleo (principalmente mano de obra no calificada) y desarrollo económico en las áreas rurales de mayor pobreza”*
- *“han contribuido significativamente a un desarrollo territorial equitativo y sostenible”* porque, entre otras cosas, *“promueven el acceso de pequeños y medianos propietarios”*
- *“las empresas individuales que han alcanzado una masa crítica mínima (Maderas Cultivadas de Costa Rica, Pan American Wood, Flor y Fauna, entre otras), han invertido en la industria, han desarrollado tecnología y han sido exitosas introduciendo y posicionando productos, tanto en el mercado nacional como en el internacional. Esto demuestra claramente que, en el ámbito del país, también se puede lograr el desarrollo de plantaciones competitivas, siempre que se tome la decisión política de apoyar el establecimiento de la masa crítica mínima”.*

Según el análisis realizado por Arias (2004) para el caso concreto de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Guanacaste de la empresa Pan American Woods, se observa que la empresa había plantado hasta el año 2004 alrededor de 3 000 ha de teca, distribuidas en los cantones de Nicoya y Nandayure, ambos con un alto índice de pobreza; y había invertido alrededor de US \$50 millones (en compra de tierras, plantación, caminos, puentes, viviendas, talleres, e industria). En el año 2004 la empresa generaba 230 empleos directos: 110 empleados directos en la plantación y 120 en la industria. Además, la empresa ha sido un fuerte apoyo a pequeños productores independientes al actuar de intermediaria y permitir a estos que puedan exportar al mercado internacional (Arias 2004)

Las plantaciones forestales pueden generar beneficios ambientales, tales como fijación de carbono, paisaje y recreo, biodiversidad, protección hidrológica, a la vez que socioeconómicos (Arias 2004, Brauman et al. 2007, Bockerhoff et al. 2008). Sin embargo, parece necesario evaluar estos beneficios ambientales para cada tipo de plantación, en cada lugar y caso en particular, especialmente en especies exóticas y/o de rápido crecimiento (Bruijnzeel 2004, Brauman et al. 2007; van Dijk y Keenan 2007, Carle et al. 2009) como el caso de la teca en países como Costa Rica. La evaluación y cuantificación de los beneficios ambientales es interesante: a) cuando existe una abundante polémica acerca del fenómeno y/o b) cuando

éstos se ven remunerados por medio de un Pago por Servicios Ambientales (PSA). Es importante diferenciar en qué casos concretos se están generando servicios ambientales y de qué tipo, al comparar las reforestaciones o plantaciones forestales con otros usos del suelo como bosques naturales o potreros, por ejemplo, ya que no todas las plantaciones forestales se consideran aptas para fines protectores o conservacionistas (Brauman et al. 2007, Carle et al. 2009). En el caso de Costa Rica, varias empresas que se dedican a la plantación de especies forestales lo hace casi exclusivamente con fines inmobiliarios: comprando tierras, sembrándolas de teca y revendiéndolas a un precio mayor al de inversión a terceros comúnmente extranjeros, sin que medie ningún interés de conservación ambiental pese a recibir pagos por servicios ambientales.

Como un balance global y pese a ese mayor consumo de agua que se les atribuye, van Dijk y Keenan (2007) consideran que las plantaciones forestales pueden generar un aumento de los caudales bajos (en la época seca) cuando:

- a) Mejoran las propiedades de infiltración de agua en suelos degradados
- b) Como consecuencia de esa mejora de la infiltración de los suelos, grandes cantidades de agua de lluvia se infiltran en vez de escurrirse superficialmente
- c) El tiempo que tarda el agua subterránea en incorporarse a los caudales superficiales es tal que el volumen de agua infiltrado durante la estación lluviosa contribuye a un mayor caudal superficial en la época seca

A lo largo de la historia el sector forestal ha visto como después de varias rotaciones las tasas de crecimiento y producción disminuían (Evans, 2009), posiblemente a causa de un empobrecimiento de los suelos al no existir planes de nutrición que supliesen las exportaciones de madera y leña. La innovación en áreas como la selvicultura, la ordenación de montes, los modelos estadísticos-informáticos y la genética forestal, así como la tendencia a establecer plantaciones en áreas tropicales con climas que permiten un mayor crecimiento, ha hecho que la tendencia actual en el sector forestal mundial sea cada vez más establecer plantaciones forestales con un manejo selvícola intensivo, con rotaciones cortas (15-25 años) e inversiones económicas altas, las cuales permiten minimizar la extracción de madera de bosques primarios o secundarios. Para la gestión sostenible y el mantenimiento de altas tasas de productividad de estas plantaciones intensivas, especialmente si se encuentran en suelos con deficiencias, se hace imprescindible la existencia de buenos planes de nutrición y fertilización, además de técnicas que permitan una buena elección y evaluación de sitio.

### **Plantaciones de teca**

La teca (*Tectona grandis* L.f.) ha sido plantada en grandes extensiones en América Central, inicialmente en Costa Rica y Panamá (FAO 2002) y más recientemente en Guatemala, El Salvador y Nicaragua. En esta región, la especie se maneja intensivamente con rotaciones de 20-25 años, esperándose un crecimiento de volumen comercial de aproximadamente  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Pandey & Brown 2000; FAO 2002; Bermejo et al. 2004). En contraste con las rotaciones de 40-80 años en Asia y África, en América Central la teca es manejada sólo durante su período de máximo crecimiento, normalmente en sitios fértiles que se eligen cuidadosamente para asegurar su productividad. Sin embargo, las plantaciones de teca de ciclo corto también son a menudo establecidas en suelos menos fértiles donde el manejo de nutrimentos es un aspecto clave para lograr la sostenibilidad en el manejo de las mismas y mantener la productividad en

futuras rotaciones (Poels 1994; Evans & Turnbull 2004). Así, se necesita un conocimiento adecuado de la nutrición de plantaciones de teca para un mejor manejo de las mismas y lograr maximizar la productividad y asegurar la sostenibilidad de las mismas.

En especial en la región costera del Pacífico Norte de Costa Rica (Guanacaste), con un clima que se caracteriza por un periodo seco marcado de 4 a 6 meses y unos suelos rojos con buenas propiedades físicas y ricos en nutrientes (Alfisoles), las plantaciones de teca han supuesto desde hace 20-30 años una muy buena alternativa económica y numerosas empresas de capital extranjero han invertido en la zona transformando el paisaje de una zona fundamentalmente ganadera a grandes extensiones dominadas por monocultivos de teca con zonas de bosque intercaladas en las riveras de los ríos y arroyos. Estas plantaciones de teca han generado también abundante empleo que sostiene junto con el turismo y las actividades relacionadas con él a la mayoría de la población rural que se mantiene en esta región. En esta zona de Guanacaste la teca presenta una buena calidad de la madera y un buen crecimiento en general, aunque éste se ve disminuido en las zonas de pendiente, por lo que algunas de estas zonas están siendo abandonadas y dedicadas al sector turístico.

Según estudios realizados en Costa Rica y Panamá (Fernández-Moya et al., en prensa), la nutrición de plantaciones de teca debería prestar especial atención al N y al K (junto con Ca los 3 nutrimentos más absorbidos). Además, P, B y Mg podrían estar limitando la productividad de plantaciones forestales de teca en la región. El índice de estabilidad de las plantaciones (PSI) (Fölster & Khanna 1997) se muestra como una buena instrumento para medir la extracción de nutrimentos en plantaciones forestales y la degradación de la fertilidad de los suelos; de manera que es considerado como un buen indicador que podría ser utilizado para evaluar la sostenibilidad de las plantaciones, sobre todo en protocolos de certificación o cuando éstas se benefician de pagos por servicios ambientales.

### **Plantaciones de amarillón**

El amarillón o roble coral (*Terminalia amazonia* [J.F. Gmel.] Exell) es una especie de crecimiento rápido (alcanza hasta 25 m de altura en 10 años) y promisorio para la producción de madera ya que esta tiene buenas propiedades comerciales y una demanda local alta (Nichols 1994; Solís y Moya 2006). La especie ha sido identificada como una de las nativas que presenta un mayor crecimiento en plantaciones mixtas y puras establecidas en parcelas experimentales en Costa Rica (p.ej. Haggard et al. 1998; Montagnini et al. 2000; Alice et al. 2004). Griess y Knoke (2011) sugieren que las plantaciones de *T. amazonia* en Panamá y Centro América son más productivas que las de teca pese a que estas son consideradas las más productivas en la región.

En Costa Rica, *T. amazonia* se desarrolla bien en suelos de baja fertilidad, rojizos y arcillosos (Ultisoles), así como en suelos de origen volcánico, mostrando altos porcentajes de sobrevivencia con condiciones mínimas de mantenimiento (Nichols et al. 1997). Además, esta especie crece en colinas y planicies costeras, en suelos rojos o amarillos profundos, derivados de materiales aluviales o ígneos bien drenados, desde 0 hasta 1.200 msnm y en regímenes de temperatura y precipitación anual que oscilan entre 21-28°C y 2.000-3.500 mm. La misma soporta hasta cuatro meses de sequía en las zonas de vida bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical. El crecimiento es óptimo en suelos arcillosos a francos bien drenados, con pH de 4 a 7 (ácido a neutro); también se desarrolla en suelos arcillosos o pobres y arenosos, ácidos y altamente tóxicos en aluminio (Montero y Kanninen 2005). El régimen de precipitación

ha sido considerado como uno de los factores más limitantes para el crecimiento de la especie ya que en suelos con régimen de humedad ústico la especie crece lentamente comparada con las altas tasas de crecimiento observadas en regímenes de humedad údicos y moderadas en los perúdicos (Calvo-Alvarado et al. 2007; Bastien-Henri et al. 2010).

### Conclusiones

El sector de las plantaciones forestales en América Central (Costa Rica en particular) puede dividirse en dos:

- a. **empresas internacionales** con inversión de gran capital en plantaciones de especies con mercado internacional consolidado (principalmente teca – *Tectona grandis* L.f. – y melina – *Gmelina arborea* Roxb. –). Estas empresas ocupan sitios buenos para asegurar altas productividades que aseguren el rendimiento para el pago de intereses a sus inversores. Socioeconómicamente suponen actividades económicas en zonas rurales deprimidas donde las actividades productivas escasean y, así, suponen una importante fuente de trabajo en zonas rurales (Arias, 2004)
- b. **pequeños productores** con pequeña inversión de capital y plantaciones enfocadas a un mercado local (nacional o regional) y/o internacional (vía intermediarios). Normalmente se encuentran en sitios malos o moderados (ácidos, poco fértiles y/o en laderas) con productividades bajas, dado el alto precio de la tierra en sitios de calidad. Las especies plantadas en estos casos varían entre exóticas, como teca y melina, y otras especies nativas como, por ejemplo, el amarillón o roble coral [*Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell] que está adaptada a suelos ácidos poco fértiles y condiciones de la ladera, donde alcanza buenas productividades si la el régimen de humedad de suelo es údico (Montero y Kanninen, 2005; Fernández-Moya y Alvarado, en prensa), llegando incluso a considerarse más rentable económicamente que las plantaciones de teca (Griess y Knoke, 2011)

Por eso, el grupo de trabajo Agua, Bosques y Cambio Climático y el Programa de Cooperación Comunidad Agua y Bosques, con todos los proyectos que se encuentran bajo su paraguas, estamos trabajando para desarrollar herramientas para la elección de sitio y el manejo de la nutrición y fertilización de plantaciones de dos especies forestales, teca (*Tectona grandis*) y amarillón o roble coral (*Terminalia amazonia*), que mejore la productividad y posibilite la sostenibilidad en el uso del recurso suelo a dos escalas socioeconómicas: grandes empresas y pequeños propietarios, respectivamente.

### Literatura citada

- ALICE F, MONTAGNINI F, MONTERO M. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la estación biológica la selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(2): 61-71.
- ARCE H, BARRANTES A. 2006. La madera en Costa Rica: Situación Actual y Perspectivas. FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal)-ONF (Oficina Nacional Forestal). Costa Rica.
- ARIAS G. 2004. Análisis del impacto económico y social de las plantaciones forestales en Costa Rica. FUNDECOR. Costa Rica. 22 p.
- BARRANTES A, SALAZAR G, SALAS N. 2009. Usos y aportes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2008. ONF (Oficina Nacional Forestal). Costa Rica.
- BASTIEN-HENRI S, PARK A, ASHTON M, MESSIER C. 2010. Biomass distribution among tropical tree species grown under differing regional climates. *Forest Ecology and Management* 260: 403–410.
- BERMEJO I, CAÑELLAS I, SAN MIGUEL A. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189: 97-110.

- BRAUMAN KA, DAILY GC, DUARTE TK. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources* 32: 67-98.
- BROCKERHOFF EG, JACTEL H, PARROTTA JA, QUINE CP, SAYER J. 2008 Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation* 17:925-951
- BRUIJNZEEL LA. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:185-228
- CALVO-ALVARADO JC, ARIAS D, RICHTER DD. 2007. Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 242: 227-235.
- CARLE JB, BALL JB, DEL LUNGO A. 2009. The Global Thematic Study of Planted Forests. In Evans, J. ed. *Planted Forests: Uses, Impacts and Sustainability*. CAB International; FAO. p. 33-46
- EVANS J, TURNBULL JW. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics*. Oxford University Press. United States.
- EVANS J. 2009. *Planted forests: Uses, impacts and Sustainability*. CAB International, FAO, Rome. 213 p.
- FAO. 2002. Teak (*Tectona grandis*) in Central America [by RV De Camino, MM Alfaro y LFM Sage. *Forest Plantations Working Paper* 19]. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division, FAO, Rome
- FERNÁNDEZ-MOYA J, MURILLO R, PORTUGUEZ E, FALLAS JL, RÍOS V, KOTTMAN F, VERJANS JM, MATA R, ALVARADO A. En prensa. Nutrition age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America: Nutrient accumulation and export
- FERNÁNDEZ-MOYA J, ALVARADO A. EN PRENSA. Nutrición y fertilización de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Exell. En: Alvarado A, Raigosa J (eds.). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo (ACCS). San José, Costa Rica.
- FÖLSTER H, KHANNA PK. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soils, in: Nambiar EKS, Brown AG (eds.). *Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests*. Australian Centre for International Agricultural Research, Australia, pp. 339-379.
- FRA (Forest Resources Assessment). 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Principales resultados (en línea). FAO-FRA. Consultado 1 mayo 2010. Disponible en <http://foris.fao.org/static/data/fra2010/KeyFindings-es.pdf>
- GRIESS VC, KNOKE T. 2011. Can native tree species plantations in Panama compete with Teak plantations? An economic estimation. *New Forests* 41 (1): 13-39.
- HAGGAR JP, BRISCOE CB, BUTTERFIELD RP. 1998. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. *Forest Ecology and Management* 106: 195-203.
- MONTAGNINI F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management* 134: 257-270
- MONTERO M, KANNINEN M. 2005. *Terminalia amazonia*; ecología y silvicultura. Serie Técnica, Informe Técnico CATIE nº 339. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 34 p.
- NICHOLS JD. 1994. *Terminalia amazonia* (Gmel) Exell: development of a native species for reforestation and agroforestry. *Commonwealth Forestry Rev.* 73 (1): 9-13.
- NICHOLS JD, GILLESPIE AR, RICHTER DD. 1997. Growth, foliar and nutrient status of *Terminalia amazonia* planted in southwestern Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Sciences* 10 (2): 233-248.
- PANDEY D, BROWN C. 2000. Teak: a global overview. *Unasylva* 51 (2): 1-15.
- POELS RLH. 1994. Nutrient balance studies to determine the sustainability of management systems of natural and plantation forests in Costa Rica. CATIE/AUW/MAG, San José, Costa Rica.
- SOLIS CM, MOYA R. 2004. *Terminalia amazonia* en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 100 pp.
- VAN DIJK AIJM, KEENAN RJ. 2007. Planted forests and water in perspective. *Forest Ecology and Management* 251: 1-9

## **METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE ABASTECIMIENTOS COMUNITARIOS RURALES EN CENTROAMÉRICA: SITUACIÓN DE LOS CANTONES DE OSA Y GOLFITO (COSTA RICA)**

Alejandra Pérez-Vinasco <sup>(1)</sup>, José Olabarri <sup>(1)</sup>, Gueton Olivera <sup>(1)</sup>, Javier Bonatti <sup>(2)</sup>, Miguel Marchamalo <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno. Universidad Politécnica de Madrid España. [alexandra.perez.vinasco@alumnos.upm.es](mailto:alexandra.perez.vinasco@alumnos.upm.es)

(2) CICANUM. Universidad de Costa Rica Costa Rica

Los abastecimientos de agua rurales centroamericanos se enfrentan a una problemática creciente en el siglo XXI, que conjuga la creciente descentralización estatal, el incremento de la presión humana sobre las fuentes de agua (PASOLAC, 2005), la incertidumbre climática y los cambios de usos del suelo. Al mismo tiempo, el desarrollo de la industria agraria y la expansión del modo de vida urbano en las zonas rurales se traducen en un incremento de la demanda de agua que es soportado por los acueductos autogestionados con escasos recursos económicos, técnicos y organizativos.

Hay un vacío de información sobre la situación de los acueductos rurales centroamericanos, que desarrollan su labor con escasez de medios y limitado apoyo de las entidades rectoras del agua en cada país. Por ello, el objetivo del presente documento es establecer una metodología de diagnóstico de abastecimientos de agua que permita formular planes y proyectos de mejora viables en la Región centroamericana.

Este trabajo presenta la metodología desarrollada para el diagnóstico de abastecimientos comunitarios en zonas rurales de Centroamérica y los resultados obtenidos en los cantones de Osa y Golfito (Costa Rica).

Los objetivos específicos del documento se centran en a) realizar un diagnóstico en campo donde se refleje la situación real de los abastecimientos de agua comunitarios en todas sus dimensiones: técnicas, organizativas, sociales y económicas; b) identificar propuestas viables de mejora, a través de literatura existente o también estudios piloto en el territorio de estudio y c) transferir la metodología y los resultados obtenidos a otras comunidades centroamericanas interesadas.

La metodología propuesta presenta las siguientes fases: a) diseño de la encuesta, b) diagnóstico en campo, c) tipificación de los acueductos, d) elaboración de un catálogo de propuestas de mejora, e) priorización y f) elaboración de un plan cantonal de mejora de los abastecimientos de agua comunitarios. El diagnóstico se realiza en los siguientes ejes: a) organización y administración, b) infraestructura, c) económico y d) capacitación y calidad del servicio.

Esta metodología ha sido aplicada a los cantones de Osa y Golfito (Provincia de Puntarenas, Pacífico Sur, Costa Rica) y está previsto aplicarla al cantón de Corredores en 2011. Asimismo ha sido compartida con los investigadores del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (<http://www.cira-unan.edu.ni/>) para su aplicación en Nicaragua.

Los cantones de Osa, Golfito y Corredores se encuentran entre las zonas más deprimidas de Costa Rica. El cantón de Osa presenta un Índice de Desarrollo Social (IDS) de 15,2 notablemente inferior al de la media nacional (45,5) (MIDEPLAN, 2007). El Pacífico Sur de Costa Rica está marcado por las actividades bananeras en el siglo XX. El cese de estas actividades a mediados de los años 1980 abrió una crisis regional que aún no se ha cerrado. El Estado reaccionó ante las invasiones de fincas mediante el establecimiento de asentamientos campesinos gestionados



por el Instituto de Desarrollo Agrario (IDA) que pretendieron implantar el cultivo de la palma africana en tierras donde se cultivó el banano (Royo Aspa, 2008).

Los cantones de Osa y Golfito son de población mayoritariamente rural. Por ello, el abastecimiento de agua para consumo humano es gestionado por acueductos comunitarios (ASADA) en más del 70% de la población mientras que el ente rector del abastecimiento, Instituto Costarricense de Aguas y Alcantarillados (AyA) suministra solamente a las poblaciones urbanas, con menos del 30% de la población total.

El diagnóstico puso de relieve los siguientes problemas en las ASADAs de los cantones analizados, con datos particulares para cantón de Osa (Olabarri, 2011):

a) Problemas estructurales: a.1) Déficit de almacenamiento en el 69% de las ASADAs; a.2) Déficit de tanques quiebragradiantes el 56% de los acueductos no los tiene y debido a la topografía, serían necesarios para evitar cargas de presión excesivas en puntos de la red que elevan los gastos de mantenimiento; a.3) Déficit en la medición la falta de hidrómetros en el 62,5% de las ASADAs supone un aumento del consumo y una reducción de ingresos; a.4) Déficit de sistemas de cloración y filtrado solo 2 ASADAs cloran en Osa.

b) Problemas de abastecimiento el 38% padece este problema en la estación seca (enero-abril) y en las zonas más altas del acueducto. En cinco de las seis ASADAs con este problema no tienen medidores.

c) Problemas de tipo legal, necesidad de asesoramiento en materia legal, búsqueda de financiación, concesiones, proyectos de mejora, etcétera.

d) Problemas de tipo económico morosidad en dos ASADAs y dificultades para mantenimiento de los tres acueductos más meridionales. Existe una inercia de bajos precios en el servicio. Se analiza el impacto que tendría si las ASADAs subieran los precios hasta los precios establecidos por el ente regulador en Costa Rica, ARESEP.

e) Problemas ambientales en el caso específico de Palmar Sur (sistema por bombeo) existe riesgo de contaminación del manto acuífero por infiltración de fertilizantes y fitosanitarios y mala gestión de aguas negras.

f) Problemas de falta de implicación vecinal y sensibilización cierta proporción de la población local no valora el recurso hídrico en su justa medida y no acata medidas impopulares como instalación de medidores o subidas justificadas de tarifas.

Esta información constituye el primer informe sobre estos abastecimientos realizado de forma sistemática y representativa para apoyar la toma de decisiones. Con ello, se ha elaborado la línea base de información del Plan de Mejora de los Abastecimientos de Agua del Cantón de Osa (Olabarri, 2011) y de las futuras actuaciones en los cantones analizados en lo referente al servicio del agua. Este diagnóstico ha sido desarrollado inicialmente en el marco del proyecto Comunidad, Agua y Bosque en el Sur-Sur de Costa Rica (Consejo Nacional de Rectores de Costa Rica, CONARE). El proyecto se enmarca asimismo dentro del Programa CAB Centroamérica en el que se integran varias universidades iberoamericanas, entre ellas la Universidad Nacional

Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN), la Universidad de Costa Rica y la Universidad Politécnica de Madrid (<http://www.caminos.upm.es/imt/Topografia/Cab/cab.html>), y de los Proyectos MAIAS (XI Convocatoria de Subvenciones y Ayudas para Acciones de Cooperación Universitaria para el Desarrollo, Solidaridad Universidad Politécnica de Madrid, 2010) y FORMAIAS (PCI-AECID).

### Literatura citada

- PASOLAC, 2005. *Recuperación de fuentes de agua en zonas de laderas propensas a la sequía*. Documento No. 479. Serie Técnica 4/2005. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC). COSUDE e Intercooperación. Nicaragua.
- MIDEPLAN, 2007. *Índice de desarrollo social 2007* / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica -- San José, CR: MIDEPLAN, 2007 116p ISBN 978-9977-73-026
- OLABARRI J. 2011. *"Plan de mejora de los abastecimientos de agua comunitarios del cantón de Osa, Costa Rica"* Proyecto de Fin de Carrera para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Madrid.
- ROYO ASPA, A. 2008. *Crisis de dependencia en la zona Sur. Desarrollo agrario y migraciones internas en el cantón de Osa 1973-2000*. Universidad de Costa Rica. San José. ISBN 978-9977-15-171-7
- PROGRAMA COMUNIDAD, AGUA Y BOSQUE. Universidad Politécnica de Madrid. 31/01/2011. <http://www.caminos.upm.es/imt/Topografia/Cab/cab.html>. [cabcentroamerica@gmail.com](mailto:cabcentroamerica@gmail.com)

## **PLAN DE MEJORA DE LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA COMUNITARIOS DEL CANTÓN OSA (COSTA RICA)**

José Olabarri<sup>(1)</sup>, Javier Bonatti<sup>(2)</sup>, Miguel Marchamalo<sup>(1)</sup>, Carlos Gregorio Hernández<sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno. Universidad Politécnica de Madrid, España. [joseolabarri@hotmail.com](mailto:joseolabarri@hotmail.com);

(2) CICANUM. Universidad de Costa Rica. Costa Rica

(3) Departamento Producción Vegetal: Fitotecnica . Universidad Politécnica de Madrid, España.

Proyecto de Fin de Carrera de Cooperación al Desarrollo que desarrolla el Plan de mejora de los abastecimientos de agua comunitarios del cantón de Osa en el Pacífico Sur de Costa Rica, incluyendo un diagnóstico hecho en campo de los diferentes abastecimientos, visita a diferentes propuestas de mejora piloto y presupuesto para las actuaciones recomendadas en un Plan de Urgencia que asegure potabilidad y suministro de agua para el total de la población abastecida en Osa. El documento se desarrolla en tres cuerpos: memoria técnica y anejos a la memoria; planos y memoria económica. La memoria técnica está formada por:

- 1-. ANTECEDENTES
  - 1.1-. INTRODUCCIÓN
  - 1.2-. OBJETIVOS
  - 1.3-. BENEFICIARIOS
- 2-. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN
  - 2.1-. ÁREA DE ESTUDIO (COSTA RICA – OSA)
  - 2.2-. DIAGNÓSTICO
  - 2.3-. TIPOLOGÍAS DE ASADAS DE OSA
  - 2.4-. ANÁLISIS DAFO
- 3-. PROPUESTAS
  - 3.1-. PROPUESTAS ADMINISTRATIVAS – ORGANIZATIVAS
  - 3.2-. PROPUESTAS DE INFRAESTRUCTURA
  - 3.3-. PROPUESTAS ECONÓMICAS
  - 3.4-. PROPUESTAS DE FORMACIÓN Y CONTROL
- 4-. PLAN DE MEJORA
  - 4.1-. OBJETIVOS
  - 4.2-. PLAN DE MEJORA
  - 4.3-. PRIORIZACIÓN - PLAN DE URGENCIA
  - 4.4-. HIPÓTESIS ECONÓMICAS Y RATIOS DEL PLAN DE URGENCIA
  - 4.5-. VIABILIDAD DEL PLAN DE URGENCIA
  - 4.6-. CRONOGRAMA DEL PLAN DE URGENCIA
  - 4.7-. GESTIÓN DEL PLAN DE URGENCIA

El documento completo se puede consultar en el Archivo Digital de la Universidad Politécnica de Madrid [http://oa.upm.es/7204/2/PFC\\_Jose\\_Olabarri.pdf](http://oa.upm.es/7204/2/PFC_Jose_Olabarri.pdf)







*PROGRAMA DE COOPERACIÓN*

**CAB** CENTROAMÉRICA

**C**omunidad,

**A**gua y

**B**osque en Centroamérica



2012